

Mehrzweckhalle in Stahlbauweise

10. Februar

2010

Bearbeiter:

Daniel Hölscher (Matr.Nr.: 501350)
Hermann Luttmann (Matr.Nr.: 523558)
Jan Möller (Matr.Nr.: 523684)

Studiengang:

Master – Holzingenieurwesen
1/3.Semester

Prüfer:

Prof. Dr.-Ing. H.J. Hülsmann
Prof. Dr.-Ing. M. Ringkamp

Projektbeschreibung: Mehrzweckhalle in Stahlbauweise

WS2009/2010

Vorwort

[b] Diese Projektarbeit wurde im Rahmen des Projekts, MH1- Konstruktiver Ingenieurbau, im WS 09/10 bearbeitet. Die hier bearbeitete Mehrzweckhalle in Stahlbauweise besteht aus dem eigentlichen Hallenbereich und den daran angegliederten Sozialräumen und soll an ein bereits bestehendes Nebengebäude angebaut werden. In Absprache mit dem Projektbetreuer, Herrn Prof. Dr.-Ing. H. J. Hülsmann wurde der zu bearbeitende Teil auf den eigentlichen Hallenbereich eingeschränkt. Auf den hier vorliegenden Seiten, werden alle wesentlichen Nachweise für die lastabtragenden Bauteile vorgestellt und an Hand von Skizzen und Zeichnungen verdeutlicht.

Baubeschreibung

Das Hallentragwerk besteht aus zwei Hauptrahmen, die mit einer Länge von ca.21m die Halle überspannen. Zwischen den Hauptrahmen befinden sich unterspannte Träger, deren Spannweite ca. 7,35m beträgt, die an den Hauptrahmen angeschlossen sind. Durch die ebenfalls an den Hauptrahmen angeschlossenen Einhüftigen-Rahmen erreicht die Halle eine Gesamtbreite von ca.13,60m. Bis auf die Riegel der Einhüftigen-Rahmen sind sämtliche Querschnitte mit der Stahlgüte S235 gewählt. Für die Rahmenriegel hingegen wurde Stahl mit der Stahlgüte S355 gewählt. Auch wenn die Querschnitte des unterspannten Trägers nur gering ausgelastet sind, wurde entschieden, diese aus optischen Gründen mit den jetzigen Querschnitten auszuführen.

Für die Abtragung der horizontalen Lasten wird eine Dachscheibe aus Lignotrendelementen herangezogen, die ihre Kräfte in aussteifende Holztafelwände an den Schmalseiten der Halle in den Baugrund weitergeben. In Längsrichtung erfolgt die Abtragung über die Hauptrahmen.

1 Inhalt

2	Vorplanung.....	4
2.1	Tragwerksvariante 1: Mischtragwerk.....	4
2.2	Tragwerksvariante 2: Toblerone-Träger	5
2.3	Tragwerksvariante 3: Unterspannte Träger.....	6
2.4	Bewertung der Tragwerke	7
3	Lastannahmen.....	8
3.1	Ständige Lasten	8
3.2	Lastannahme für Schnee	9
3.3	Lastannahmen für Wind.....	11
3.3.1	Lotrechte Windlasten.....	11
3.4	Weitere Belastung	17
4	Beschreibung des R-Stabmodell	18
4.1	Lastfälle.....	19
5	Pos.1 Dachscheibe Akustik Q3 klassik 395 bv.....	20
5.1	Bemessung der Akustik Q3 klassik 395 bv.....	20
5.2	Nachweis der Dachscheibe.....	26
5.2.1	Nachweis des Schubflusses im Lignotrend-Element:	27
5.2.2	Nachweis Koppelfuge:	27
5.2.3	Nachweis des Schubflusses im Gurtanschluss:	28
5.2.4	Nachweis der Scheibendurchbiegung:.....	29
5.2.5	Schubverzerrung im Element:	30
6	Pos.2 Hauptträger	31
6.1	Nachweis des Riegels.....	32
6.2	Nachweis der Stütze:	39
6.3	Berechnung der Schrauben am Montagestoß des Hauptträgers.....	41
6.4	Berechnung der Schweißnaht am Montagestoß des Hauptträger.....	44
6.5	Nachweis des Stützenfußes am Hauptträger	46
6.1	Nachweis der Betonpressung unter der Fußplatte des Hauptträgers.....	48
6.2	Lagesicherheit; Gleiten	49
7	Pos.3 Nachweis der Eckstütze.....	49

8	Pos.4 Einhüftiger-Rahmen	53
8.1	Nachweis des Riegels.....	54
8.2	Nachweis der Stütze:.....	55
8.3	Nachweis der biegesteifen Rahmenecke des Einhüftigen- Rahmens:	59
8.4	Gebrauchstauglichkeitsnachweis des Einhüftigen- Rahmens:.....	63
8.5	Stützenfußanschluss des Einhüftigen-Rahmens:.....	65
9	Pos. 5 Berechnung des unterspannten Trägers.....	66
9.1	Nachweis des Anschlusses Pfosten an Obergurt IPE 200.....	71
[b] 9.2	Anschluss des Fachwerkträgers an den Hauptträger.....	74
9.3	Nachweis der Zugstäbe	77
9.4	Gebrauchstauglichkeitsnachweis des unterspannten Trägers	80
10	Pos.6 Nachweis der Wandscheibe.....	81
11	Pos.7 Bemessung der Einzelfundamente unter den Hauptträgern	84
11.7	Ermittlung der Setzungen:.....	91
12	Pos.8 Bemessung des Streifenfundamentes unter den Einhüftigen-Rahmen.....	93
13	Quellenverzeichnis	98

Planverzeichnis:

Plan-Nr. 1	Positionsplan
Plan-Nr. 2	Grundriss
Plan-Nr. 3	Schnitte
Plan-Nr. 4	Hauptträger mit Verstärkung und Anschluss
Plan-Nr. 5	Stützenfußpunktausbildung Hauptrahmen
Plan-Nr. 6	Stützenfußpunktausbildung des Einhüftigen-Rahmen
Plan-Nr. 7	Biegesteife Rahmenecke des Einhüftigen-Rahmens
Plan-Nr. 8	Fachwerkträger und deren Anschlüsse
Plan-Nr. 9	Wandaufbau und Dachaufbau
Plan-Nr. 10	Bewehrungsplan der Einzelfundamente unter den Hauptrahmen
Plan-Nr. 11	Bewehrungsplan der Streifenfundamente unter den Einhüftigen-Rahmen

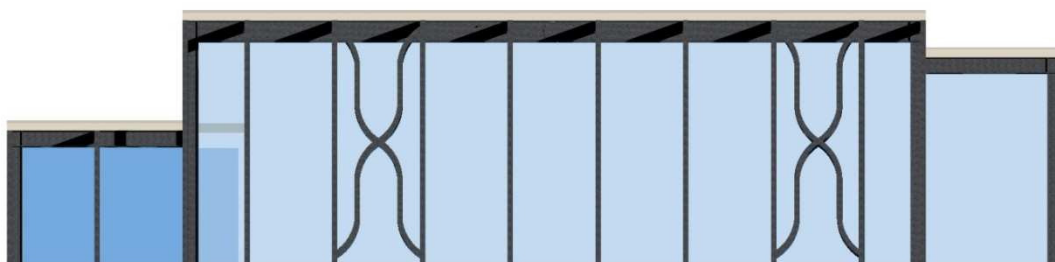
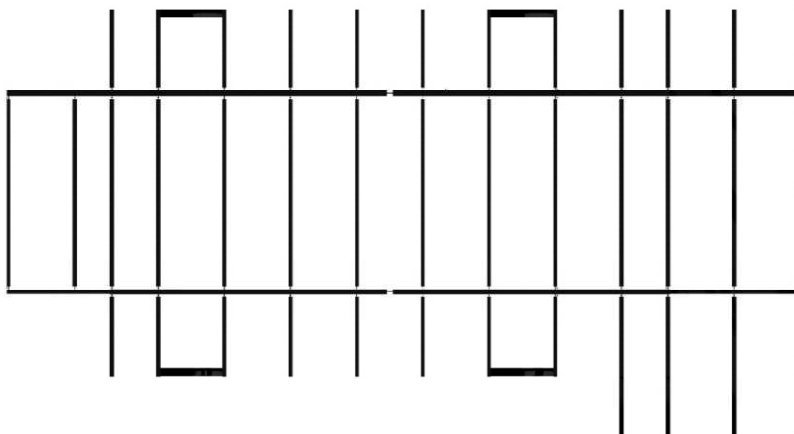
2 Vorplanung

2.1 Tragwerksvariante 1: Mischtragwerk

[b]



Bei dieser Tragwerksvariante sollte das Primärtragwerk aus zwei, über die ganze Hallenlänge gespannte Dreigelenkrahmen bestehen. In der Hallenbreite sollte die Ausdehnung durch einhüftige Rahmen realisiert werden. Zwischen die beiden Hauptrahmen sollten einfache Profile gespannt werden. Zusätzlich sollten die Anbauten wiederum durch einhüftige Rahmen und horizontalen Riegeln ausgeführt werden. Die Horizontalaussteifung der Halle sollte durch geschwungene Diagonalen, in Längsrichtung der Halle, und durch Auskreuzungen mit Rundstählen, in Querrichtung der Halle, ausgeführt werden.

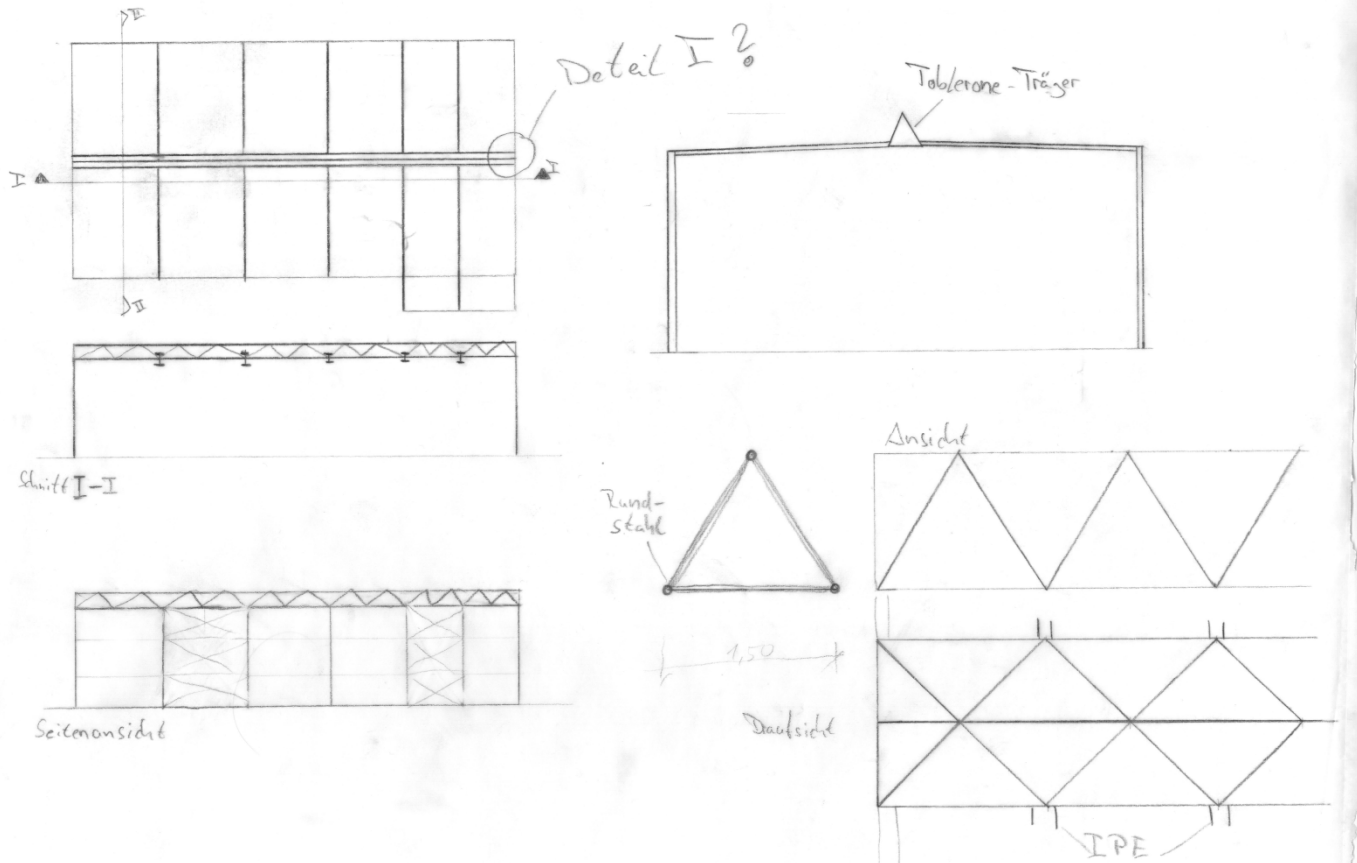


2.2 Tragwerksvariante 2: Toblerone-Träger

Bei dieser Variante handelt es sich um einen Toblerone-Hauptträger. Dieser soll über die Hallenlängsseite von 21,07 m spannen. Der Träger wird mittels Rundstahl als Fachwerk ausgebildet. An diesem Träger werden Einhüftige-Rahmen aufgelagert, die eine Spannweite von ca. 7,8 m haben. Diese werden aus IPE-Profilen.

Zur horizontalen Aussteifung wird die Dachscheibe herangezogen. Die vertikale Aussteifung erfolgt über die Wandscheiben. Diese werden als Holzrahmenwänden gefertigt.

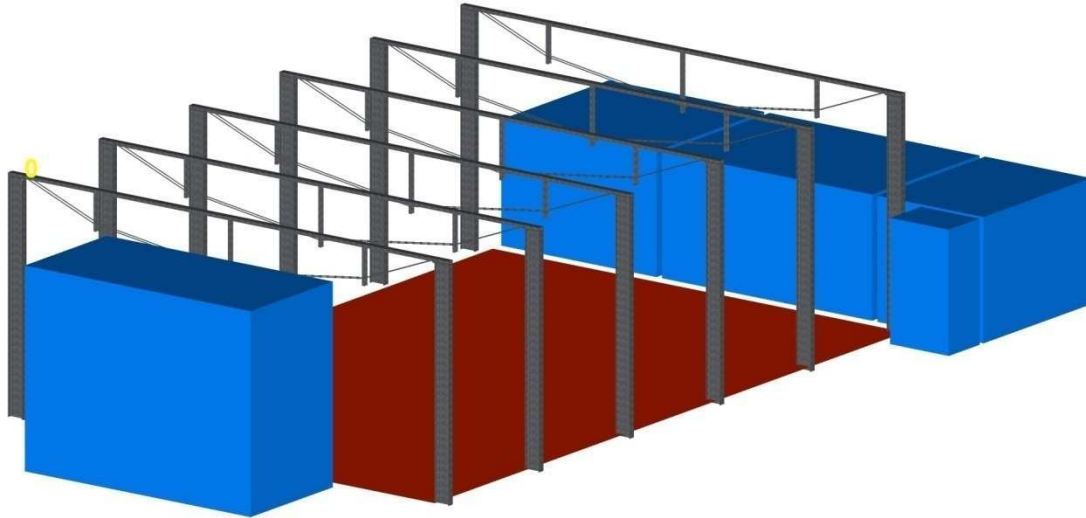
[b]



2.3 Tragwerksvariante 3: Unterspannte Träger

Variante 3 besteht aus unterspannten Trägern, die über die komplette Hallenbreite von ca. 13,60m gespannt sind. Als Obergurt dient ein geschweißtes Profil. Zur Abtragung der horizontalen Lasten wird die Dachfläche als Scheibe ausgeführt.

[b]

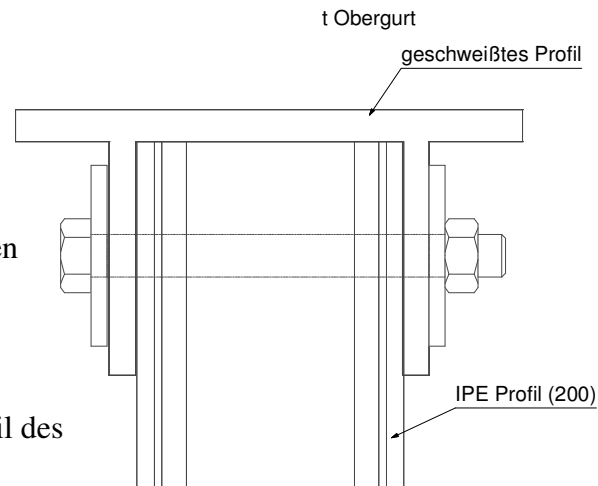


Isometrie der Halle

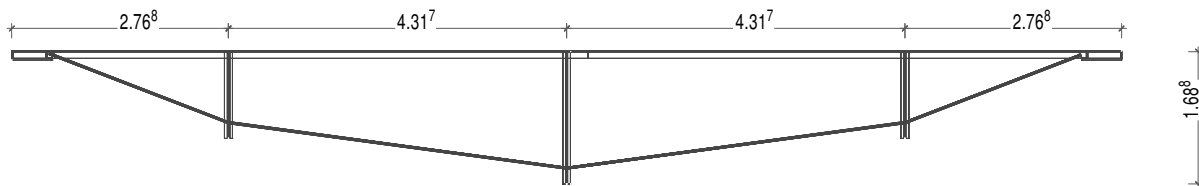
Die Druckpfosten (IPE-Träger) laufen in den geschweißten Obergurt des Trägers und übertragen ihre Kräfte über Schrauben in den Obergurt. Die Unterspannung soll mit einer Dreifachunterspreizung ausgeführt werden, so dass an jeder Spreize eine Umlenkung der Kräfte stattfindet.

Die Zugstäbe des Trägers (Rundstähle) werden im unteren Teil des Druckpfostens angeschweißt.

Die Höhe h der Unterspannung ergibt sich aus $h \approx \frac{l}{12}$ bis $\frac{12}{6}$



Ansicht des Trägers



2.4 Bewertung der Tragwerke

Bewertungstabelle

Entwurf von:	Multiplikator	Hölscher	Luttmann	Möller
Masse		ca. 7,5 t	ca. 8,5	ca.7
	1 x	3	2	4
Architektur	2 x	3	5	4
Anschlussvariabilität	1 x	4	3	3
Raumnutzung	0,5 x	3	4	2
konstruktiv bedingter Raum (ungenutzter Raum)		382 m ³	155m ³	450m ³
Transport	1 x	3	3	2
Licht	1 x	3	3	3
Montageaufwand	1 x	4	2	3
Planungsaufwand	2 x	4	2	3
Summe der Punkte		32,5	29	30

[b]

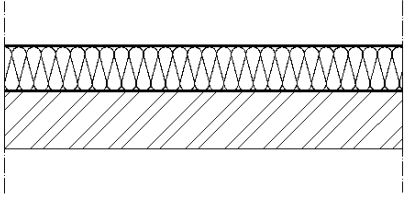
Grundlager des Bewertungssystems sind zugeordnete Punkte von 1-5 wobei 1 die minimale Punktzahl und 5 die maximale Punktzahl die zu vergeben sind. Zusätzlich geben wir den Bewertungskriterien durch einen Multiplikator zusätzliche Wichtungen.

3 Lastannahmen

Eigengewicht	nach DIN 1055-1 (06/2006)
Nutzlasten	nach DIN 1055-3 (10/2004)
	Treppen $p=5,0 \text{ kN/m}^2$
	Gruppenräume $p= 5,0 \text{ kN/m}^2$
	Flure $p= 5,0 \text{ kN/m}^2$
	nicht begehbare Dächer $p= 1,0 \text{ kN}$
Windlasten	nach DIN 1055-4 (03/2005)
Schneelasten	nach DIN 1055-5 (07/2005)

[b]

3.1 Ständige Lasten

	1,5	[cm]	Polymerbitumendichtungsbahn
	30	[cm]	Polystyrolhartschaumdämmung WLG 040
	----	[cm]	Dampfsperre/ Dampfdruckausgleichsschicht
	39,5	[cm]	LIGNO Akustik Q3 klassik

Charakteristische Werte der Einwirkung

- Polymerbitumenbahn (dreilagig)
 $0,07 \text{ [kN/m}^2 \text{ je cm]} \cdot 3 \text{ (Lagen)} = 0,21 \text{ [kN/m}^2]$
- Polystyrolhartschaumdämmung
 $0,01 \text{ [kN/m}^2 \text{ je cm]} \cdot 30 \text{ [cm]} = 0,30 \text{ [kN/m}^2]$

- Dampfsperre / Dampfdruckausgleichsschicht = 0,03 [kN/m²]
 - LIGNO Akustik Q3 klassik = 0,78 [kN/m²]
- Σ = 1,32 [kN/m²]

Lotrechte Nutzlasten

- H -nicht begehbare Dächer 1,0 [kN/m²]

[b]

3.2 Lastannahme für Schnee

Ausgangsparameter:

- Standort Hildesheim
- Geländehöhe über Normalnull 78 [m]
- Schneelastzone 2
- Dachneigung $\leq 5^\circ$

Charakteristische Werte der Schneelast auf den Boden in kN/m²

$$s_k = 0,25 + 1,91 \cdot \left(\frac{h+140}{760} \right) \geq 0,85$$

$$s_k = 0,25 + 1,91 \cdot \left(\frac{78+140}{760} \right) = 0,40 \leq 0,85$$

Daraus folgt 0,85 kN/m² ist maßgebend!

Charakteristischer Wert der Schneelast

$$s_i = \mu_i \cdot s_k$$

$$s_i = 0,8 \cdot 0,85$$

$$= 0,68 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Schneelast aus Verwehungen, Formbeiwert

$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} \leq \frac{\gamma \cdot h}{s_k} - \mu_5 \quad \alpha \leq 15^\circ \Rightarrow \mu_5 = 0$$

$$\mu_w = \frac{20,27 + 4,63}{2 \cdot 3} \leq \frac{2 \cdot 3}{0,85} - 0$$

[b] $\mu_w = 4,15 \leq 7,05$

$$\mu_4 = \mu_w + \mu_5 \begin{cases} \geq 0,8 \\ \leq 4,0 \end{cases}$$

$$\mu_4 = 4,15 + 0 = 4,15 \geq 4,0 \quad \rightarrow \quad \underline{4,0 \text{ maßgebend}}$$

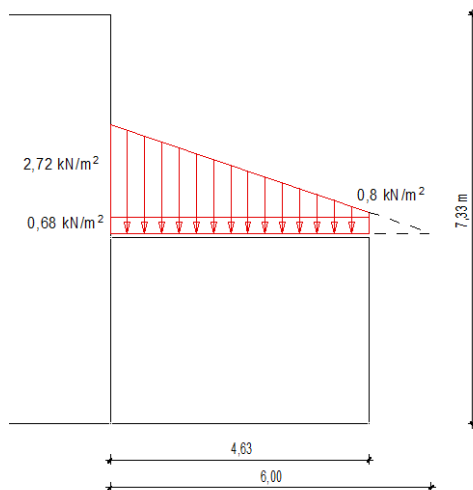
Länge des Verwehungswinkels l_5

$$l_5 = 2 \cdot h \begin{cases} \geq 2,5m \\ \leq 15m \end{cases}$$

$$\underline{l_5 = 2 \cdot 3 = 6,0m}$$

$$\mu_4 \cdot s_k = 4,0 \cdot 0,85 = 3,4 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

→ Schneelast auf dem Anbau = Trapezlast



3.3 Lastannahmen für Wind

3.3.1 Lotrechte Windlasten

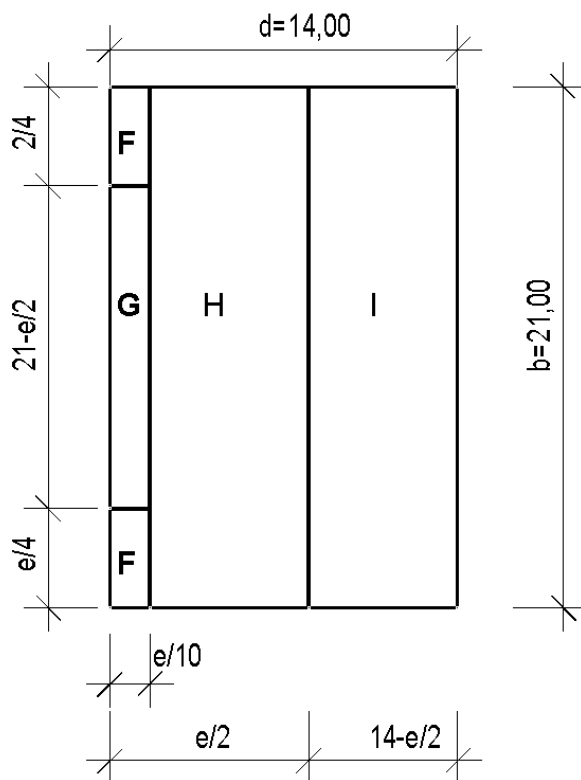
Die Windbelastung bei Dächern mit weniger als 5° erzeugt ausschließlich abhebende Kräfte und somit bei der Bemessung nicht zu berücksichtigen. Ein Abhebe Nachweis muss erbracht werden.

[b]

Dachfläche der Halle

$$e = \min \left\{ \frac{b = 14,00m}{2 \cdot h = 16,00m} \rightarrow e = 14,00 \quad h/d \leq 0,1 \rightarrow F \text{ entfällt} \right.$$

$$8/14 = 0,57 \geq 0,1$$



$$F = \frac{e}{2} \cdot e/10 = 4 \cdot 1,6 = 6,4m^2 \quad \rightarrow \quad c_{pe,1} = -2,0$$

$$G = \left(b - \frac{e}{2} \right) \cdot \frac{e}{10} = 13 \cdot 1,6 = 20,80 \text{ m}^2 \rightarrow c_{pe,10} = -0,9$$

$$H = \left(\frac{e}{2} - \frac{e}{10} \right) \cdot b = 6,4 \cdot 21 = 134,4 \text{ m}^2 \rightarrow c_{pe,10} = -0,7$$

$$I = \left(d - \frac{e}{2} \right) \cdot b = 6 \cdot 21 = 126 \text{ m}^2 \rightarrow c_{pe,10} = -0,6$$

Windlastzone 1 Binnenland $h < 10,00 \text{ m} \rightarrow q = 0,5 \text{ KN/m}^2$

[b]

Bereich F = $c_{pe,1} * q = -2,0 * 0,5 = -1,0 \text{ kN/m}^2$

Bereich G = $c_{pe,10} * q = -0,9 * 0,5 = -0,45 \text{ kN/m}^2$

Bereich H = $c_{pe,10} * q = -0,7 * 0,5 = -0,35 \text{ kN/m}^2$

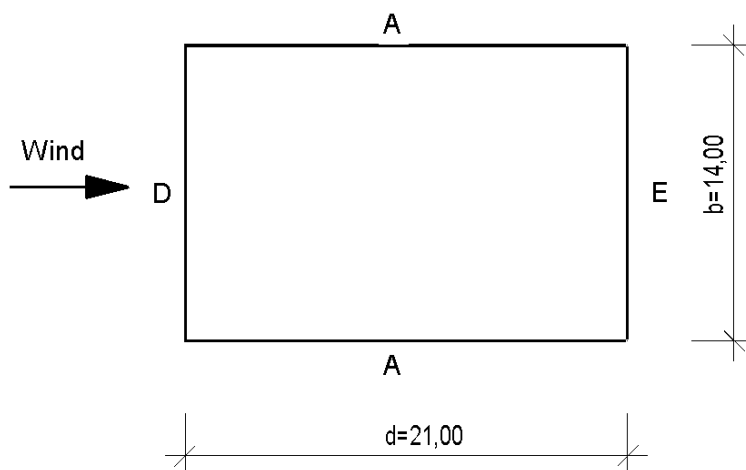
Bereich I = $c_{pe,10} * q = -0,6 * 0,5 = -0,3 \text{ kN/m}^2$

Horizontale Windbelastung auf die Haupthalle

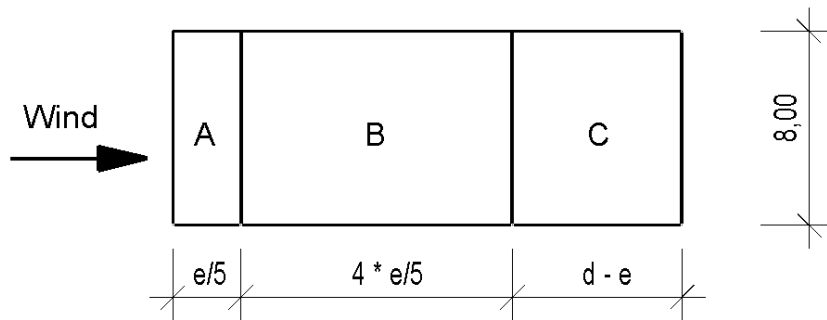
Wind auf Giebel

$$e = \min \left\{ \begin{array}{l} b = 14,00 \text{ m} \\ 2 \cdot h = 16,00 \text{ m} \end{array} \right. \rightarrow e = 14,00 \text{ m}$$

$$h/d = 8 / 21 = 0,38$$



Windparallele Seite für $e < d$



[b]

$$A = \frac{e}{5} \cdot h = 2,8 \cdot 8 = 22,4m^2 \quad \rightarrow \quad cpe_{,10} = -1,2$$

$$B = 4 \cdot \frac{e}{5} \cdot h = 11,2 \cdot 8 = 89,4m^2 \quad \rightarrow \quad cpe_{,10} = -0,8$$

$$C = d - e \cdot h = 7 \cdot 8 = 56m^2 \quad \rightarrow \quad cpe_{,10} = -0,5$$

$$D = d \cdot h = 14 \cdot 8 = 112m^2 \quad \rightarrow \quad cpe_{,10} = +0,8$$

$$E = d \cdot h = 14 \cdot 8 = 112m^2 \quad \rightarrow \quad cpe_{,10} = -0,4$$

Windlastzone 1 Binnenland $h < 10,00m \rightarrow q = 0,5 \text{ KN/m}^2$

$$\text{Bereich A} = cpe_{,10} * q = -1,2 * 0,5 = -0,6 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Bereich B} = cpe_{,10} * q = -0,8 * 0,5 = -0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Bereich C} = cpe_{,10} * q = -0,5 * 0,5 = -0,25 \text{ kN/m}^2$$

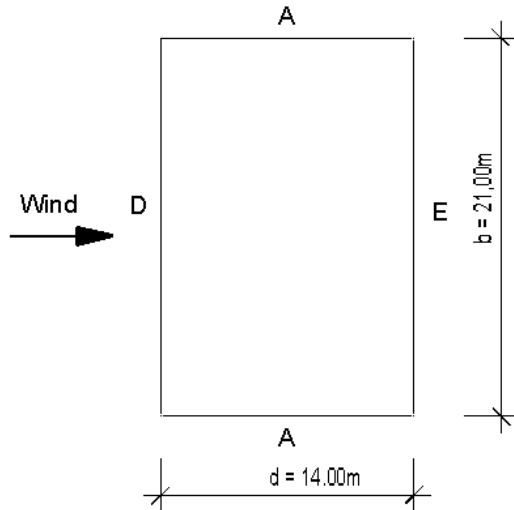
$$\text{Bereich D} = cpe_{,10} * q = +0,8 * 0,5 = +0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Bereich E} = cpe_{,10} * q = -0,4 * 0,5 = -0,2 \text{ kN/m}^2$$

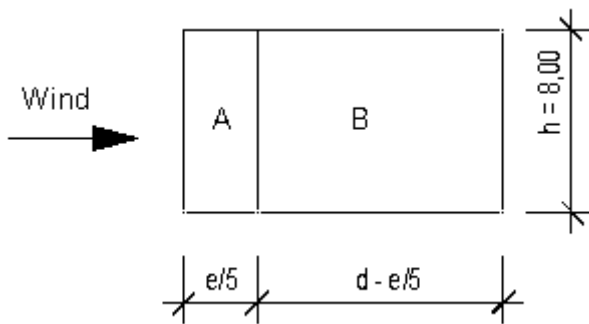
Wind auf Längsseite

$$e = \min \left\{ \frac{b = 21,00m}{2 \cdot h = 16,00m} \rightarrow e = 16,00m \quad h/d = 0,57 \right.$$

[b]



Windparallele Seite für $d \leq e \leq 5 * d$



$$A = \frac{e}{5} \cdot h = 3,2 \cdot 8 = 25,6m^2 \quad \rightarrow \quad c_{pe,10} = -1,2$$

$$B = \left(d - \frac{e}{5} \right) \cdot h = 10,8 \cdot 8 = 86,4m^2 \quad \rightarrow \quad c_{pe,10} = -0,8$$

$$D = b \cdot h = 21,00 \cdot 8 = 168m^2 \quad \rightarrow \quad c_{pe,10} = +0,8$$

$$E = b \cdot h = 21,00 \cdot 8 = 168m^2 \quad \rightarrow \quad c_{pe,10} = -0,4$$

Windlastzone 1 Binnenland $h < 10,00m \quad \rightarrow \quad q = 0,5 \text{ kN/m}^2$

$$\text{Bereich A} = c_{pe,10} * q = -1,2 * 0,5 = -0,6 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Bereich B} = c_{pe,10} * q = -0,8 * 0,5 = -0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Bereich D} = c_{pe,10} * q = +0,8 * 0,5 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Bereich E} = c_{pe,10} * q = -0,4 * 0,5 = -0,2 \text{ kN/m}^2$$

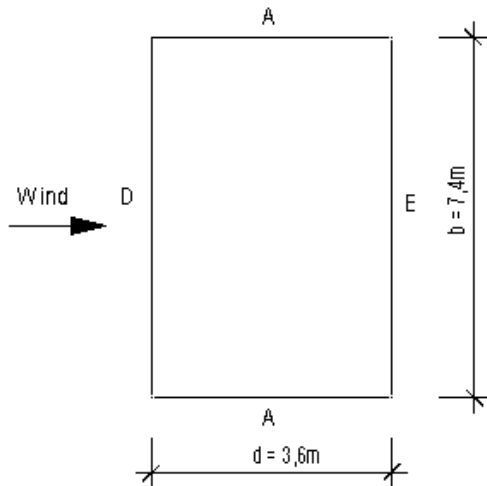
Horizontale Windbelastung auf den Geräteraum

Wind auf Längsseite

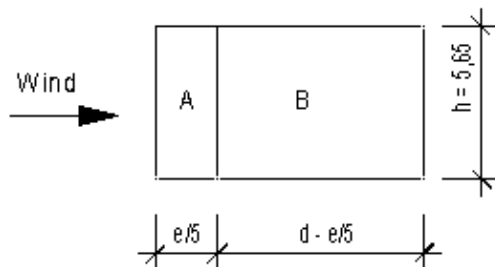
$$e = \min \left\{ \frac{b = 7,4m}{2 \cdot h = 11,3m} \right\} \rightarrow e = 7,40m$$

$$h/d = 1,57$$

[b]



Windparallele Seite für $e \leq d$



$$A = \frac{e}{5} \cdot h = 1,48 \cdot 5,65 = 8,36m^2 \quad \rightarrow \quad c_{pe,1} = -1,6$$

$$B = \left(d - \frac{e}{5} \right) \cdot h = 2,12 \cdot 5,65 = 11,58m^2 \quad \rightarrow \quad c_{pe,10} = -0,8$$

$$D = b \cdot h = 7,4 \cdot 5,65 = 41,81m^2 \quad \rightarrow \quad c_{pe,10} = +0,8$$

$$E = b \cdot h = 7,4 \cdot 5,65 = 41,81m^2 \quad \rightarrow \quad c_{pe,10} = -0,5$$

$$\text{Windlastzone 1 Binnenland} \quad h < 10,00m \quad \rightarrow \quad q = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

Bereich A = $c_{pe,1} \cdot q = -1,6 \cdot 0,5 = -0,8 \text{ kN/m}^2$

Bereich B = $c_{pe,10} \cdot q = -0,8 \cdot 0,5 = -0,4 \text{ kN/m}^2$

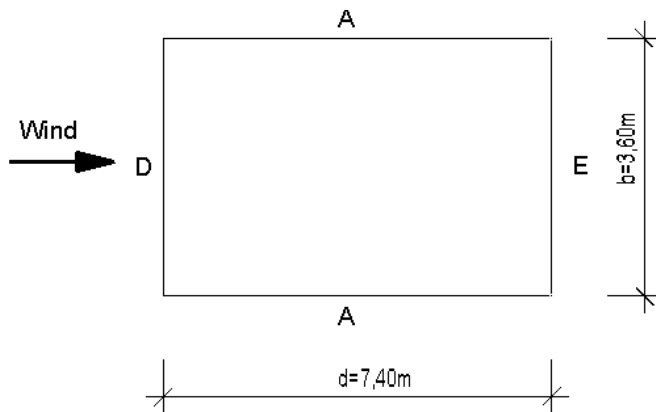
Bereich D = $c_{pe,10} \cdot q = +0,8 \cdot 0,5 = +0,4 \text{ kN/m}^2$

Bereich E = $c_{pe,10} \cdot q = -0,5 \cdot 0,5 = -0,25 \text{ kN/m}^2$

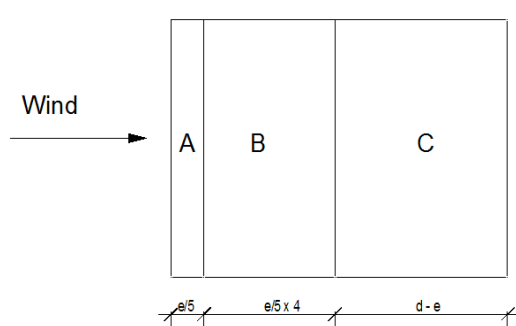
Wind auf Giebel

$e = \min \left\{ \frac{b = 3,6m}{2 \cdot h = 11,3m} \rightarrow e = 3,6m \right. \quad \left. h/d = 0,74 \right.$

[b]



Windparallele Seite für $e < d$



$A = \frac{e}{5} \cdot h = 0,72 \cdot 5,65 = 4,07m^2 \rightarrow c_{pe,1} = -1,4$

$B = \left(d - \frac{e}{5} \right) \cdot h = 2,88 \cdot 5,65 = 16,27m^2 \rightarrow c_{pe,10} = -0,8$

$C = d - e \cdot h = 3,8 \cdot 5,65 = 21,47m^2 \rightarrow c_{pe,10} = -0,5$

$D = b \cdot h = 3,6 \cdot 5,65 = 20,34m^2 \rightarrow c_{pe,10} = +0,8$

$E = b \cdot h = 3,6 \cdot 5,65 = 20,34m^2 \rightarrow c_{pe,10} = -0,5$

Windlastzone 1 Binnenland $h < 10,00\text{m}$ $\rightarrow q = 0,5 \text{ KN/m}^2$

$$\text{Bereich A} = c_{pe,10} * q = -1,4 * 0,5 = -0,7 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Bereich B} = c_{pe,10} * q = -0,8 * 0,5 = -0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Bereich C} = c_{pe,10} * q = -0,5 * 0,5 = -0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Bereich D} = c_{pe,10} * q = +0,8 * 0,5 = +0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Bereich E} = c_{pe,10} * q = -0,5 * 0,5 = -0,2 \text{ kN/m}^2$$

[b]

3.4 Weitere Belastung

Zusätzliche Belastungen haben wir sinnvoll gewählt:

Um das Aufhängen von Sportgeräten zu berücksichtigen wurden an den Achsen C;F;H Belastungen von 1kN/m angesetzt. Das Aufhängen der Sportgeräte erfolgt nur an den Riegeln der Einhäufigen-Rahmen.

Zur Berücksichtigung der Temperaturdifferenz wurde ein Lastfall Temperatur gebildet. Dieser belastet das Tragwerk durch einen gleichmäßigen Temperaturunterschied von $\pm 15^\circ\text{C}$.

Die Fundamente wurden so bemessen, dass sich nur sehr geringe Setzungen einstellen. Aus diesem Grunde wurde der Lastfall der Stützensetzung nicht berücksichtigt.

4 Beschreibung des R-Stabmodell

Das von uns gewählte Hallentragwerk haben wir mit dem Stabwerksprogramm R-Stab simuliert. Aus diesem Modell ergeben sich die Schnittkräfte/Beanspruchung der Querschnitte. In den von uns durchgeführten Nachweisen beziehen wir uns nur auf die maßgebenden Schnittkräfte für das jeweilig nachzuweisende Bauteil.

[b] Die Belastung des Modells wurden nach Kapitel 0 Lastannahmen ermittelt. Aus den verschiedenen Belastungen ergeben sich verschiedene Lastfälle. Aus den verschiedenen Lastfällen wurden Lastfallkombination gebildet. Diese beschreiben welche möglichen Einwirkungen gleichzeitig auf das Tragwerk einwirken können. Mit Hilfe der Superkombination wurden die maximalen Beanspruchungen der einzelnen Bauteile ermittelt. Mit den jeweiligen Schnittgrößen wurden die maximal belasteten Bauteile nachgewiesen. Die Bauteile derselben Positionen mit geringerer Belastung werden analog zu den Nachgewiesenen ausgeführt.

Die vertikale- Aussteifung wird durch Wandscheiben aus Holzrahmenwänden und die horizontale- Aussteifung durch die Deckenscheibe realisiert. Für die Simulation dieser Scheiben wurden in das Stabwerksmodell Diagonalen eingefügt.

Zur Berechnung der Scheiben wurden die Kräfte der Diagonalen aufgeteilt und aus den Komponenten der Schubfluss ermittelt (siehe Kapitel 0).

4.1 Lastfälle

Lastfälle:

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	Faktor	Überlagerungsart	Eigengewicht
1	Eigengewicht	1.00	Ständig	1.00
2	Schnee	1.00	Veränderlich	-
4	Mannlast	1.00	Veränderlich	-
5	Wind auf Giebel Haupthalle	1.00	Veränderlich	-
6	Wind auf Seite Haupthalle	1.00	Veränderlich	-
7	Windlast Anbau Geräteraum	1.00	Veränderlich	-
8	Wind Anbau Eingang Seite	1.00	Veränderlich	-
9	Wind Anbau Eingang Giebel	1.00	Veränderlich	-
10	Wind Anbau Geräteraum Giebel	1.00	Veränderlich	-
11	Sportgeräte	1.00	Veränderlich	-
12	Temperatur	1.00	Veränderlich	-

[b]

Lastfallkombinationen:

LK-Nr.	LK-Bezeichnung	Kombinationskriterium
1	Eigengewicht + Schnee	$1.35 \cdot \text{LF1} / \text{Ständig} + 1.50 \cdot \text{LF2}$
2	Eigengewicht + Schnee + Mannlast	$1.35 \cdot \text{LF1} / \text{Ständig} + 1.50 \cdot \text{LF2} + 1.50 \cdot \text{LF4}$
3	Eigengewicht + Wind auf Giebel Haupthalle	$1.35 \cdot \text{LF1} / \text{Ständig} + 1.50 \cdot \text{LF5}$
4	Eigengewicht + Wind auf Seite Haupthalle	$1.35 \cdot \text{LF1} / \text{Ständig} + 1.50 \cdot \text{LF6} / \text{Ständig}$
5	Eigengewicht + Schnee voll + Wind Giebel halb	$1.35 \cdot \text{LF1} / \text{Ständig} + 1.50 \cdot \text{LF2} + 0.75 \cdot \text{LF5}$
6	Eigengewicht + Schnee voll + Wind Seite halb	$1.35 \cdot \text{LF1} / \text{Ständig} + 1.50 \cdot \text{LF2} + 0.75 \cdot \text{LF6}$
7	Eigengewicht + Wind Giebel voll + Schnee halb	$1.35 \cdot \text{LF1} / \text{Ständig} + 1.50 \cdot \text{LF5} + 0.75 \cdot \text{LF2}$
8	Eigengewicht + Wind Seite voll + Schnee halb	$1.35 \cdot \text{LF1} / \text{Ständig} + 1.50 \cdot \text{LF6}$
9	Eigengewicht + W G voll + S halb + Sg + Temp	$1.35 \cdot \text{LF1} / \text{Ständig} + 1.50 \cdot \text{LF5} + 0.75 \cdot \text{LF2} + 0.90 \cdot \text{LF12} + 1.05 \cdot \text{LF11}$
10	Eigengewicht + W S voll + S halb + Sg + Temp	$1.35 \cdot \text{LF1} / \text{Ständig} + 1.50 \cdot \text{LF6} + 0.90 \cdot \text{LF12} + 1.05 \cdot \text{LF11}$
11	Eigengewicht + W S halb + S voll + Sg + Temp	$1.35 \cdot \text{LF1} / \text{Ständig} + 1.50 \cdot \text{LF2} + 0.75 \cdot \text{LF6} + 0.90 \cdot \text{LF12} + 1.05 \cdot \text{LF11}$
12	Eigengewicht + W G halb + S voll + Sg + Temp	$1.35 \cdot \text{LF1} / \text{Ständig} + 1.50 \cdot \text{LF2} + 0.90 \cdot \text{LF5} + 1.05 \cdot \text{LF11}$
13	Eigengewicht + Sg	$1.35 \cdot \text{LF1} / \text{Ständig} + 1.50 \cdot \text{LF11}$
14	Eigengewicht + Sg + Temp	$1.35 \cdot \text{LF1} / \text{Ständig} + 1.50 \cdot \text{LF11} + 0.90 \cdot \text{LF12}$
15	Eigengewicht + temp + Sg	$1.35 \cdot \text{LF1} / \text{Ständig} + 1.50 \cdot \text{LF12} + 1.05 \cdot \text{LF11}$

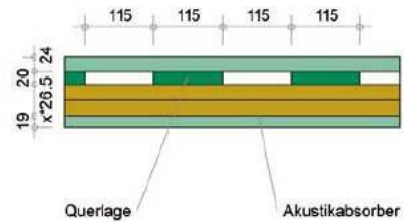
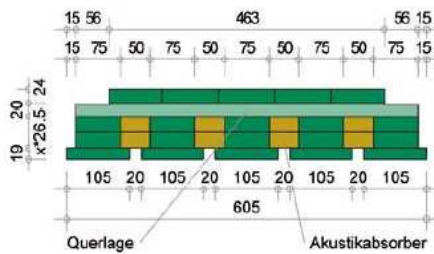
5 Pos.1 Dachscheibe Akustik Q3 klassik 395 bv

5.1 Bemessung der Akustik Q3 klassik 395 bv

Datum: 26.10.2009 LIGNOTREND - Bemessungsprogramm LTB v5.06

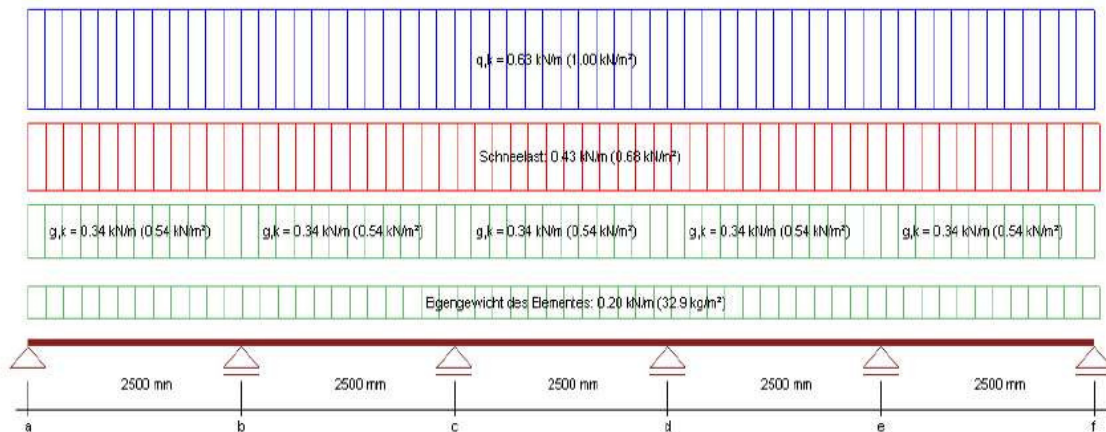
[b]

LIGNO Akustik Q klassik WT 90 x = 1 Nutzungsklasse 1



BERECHNUNG NACH DIN 1052:2004 UND ABZ NR. Z-9.1-555

System und Belastung:



Tragfähigkeits- und Steifigkeitskennwerte: (bezogen auf die Elementbreite)

Feld Nr.	l [m]	+M _{Rk} [kNm]	-M _{Rk} [kNm]	V _{Rk} [kN]	EI _{cf,scr} [kNm ²]
1	2.50	9.52	-9.87	14.60	226.08
2	2.50	9.52	-9.87	14.60	226.08
3	2.50	9.52	-9.87	14.60	226.08
4	2.50	9.52	-9.87	14.60	226.08
5	2.50	9.52	-9.87	14.60	226.08

Stütze	+M _{Rk} [kNm]	-M _{Rk} [kNm]	V _{Rk} [kN]
a	9.52	-9.87	14.60
b	9.52	-9.87	14.60
c	9.52	-9.87	14.60
d	9.52	-9.87	14.60
e	9.52	-9.87	14.60
f	9.52	-9.87	14.60

ANMERKUNG: Universalkelzinkenstöße der Elemente werden gemäß ab7 Nr. 7-9.1-555 Abschnitt 3.2.1.4 durch Abminderung der Biegefestigkeit am zugbeanspruchten Querschnittsrand berücksichtigt.

[b]

Flächenlasten:

Eigengewicht des Elementes: $g_{\text{Element}} = 0.32 \text{ kN/m}^2$
 Eigengewicht Schüttung/Dämmung: keine Schüttung/Dämmung möglich
 Kombinationsbeiwerte: $\psi_0 = 0.00 / \psi_2 = 0.00$ für die Verkehrslast
 $\psi_0 = 0.50 / \psi_2 = 0.00$ für die Schneelast

Feld Nr.	g _k [kN/m ²]	q _k [kN/m ²]	KLED	s _k [kN/m ²]	KLED
1	0.54	1.00	kurz	0.68	kurz
2	0.54	1.00	kurz	0.68	kurz
3	0.54	1.00	kurz	0.68	kurz
4	0.54	1.00	kurz	0.68	kurz
5	0.54	1.00	kurz	0.68	kurz

ANMERKUNG: KLED der Schneelast für HÜNN = 78 m (= < 1000 m)

Maßgebende Schnittgrößen (Bemessungswerte):

Momente mit positivem Vorzeichen

Feld Nr.	Stützen	+M _{d,maßg} [kNm]	LFK	k _{mod}
1	a, b	1.09	g+q+s	0.90
2	b, c	0.68	g+q+s	0.90
3	c, d	0.80	g+q+s	0.90
4	d, e	0.68	g+q+s	0.90
5	e, f	1.09	g+q+s	0.90

Momente mit negativem Vorzeichen

Feld Nr.	Stützen	-M _{d,maßg} [kNm]	LFK	k _{mod}
1	a, b	-1.39	g+q+s	0.90
2	b, c	-1.39	g+q+s	0.90
3	c, d	-1.17	g+q+s	0.90
4	d, e	-1.39	g+q+s	0.90
5	e, f	-1.39	g+q+s	0.90

Querkräfte

Feld Nr.	Stützen	V _{d,maßg} [kN]	LFK	k _{mod}
1	a, b	3.04	g+q+s	0.90
2	b, c	2.78	g+q+s	0.90
3	c, d	2.69	g+q+s	0.90
4	d, e	2.78	g+q+s	0.90
5	e, f	3.04	g+q+s	0.90

[b]

ANMERKUNG: Alle Schnittgrößen beziehen sich auf die Elementbreite $b = 625 \text{ mm}$.

ANMERKUNG: Aufgrund der unterschiedlichen Modifikationsbeiwerte k_{mod} der einzelnen Lastfallkombinationen ergibt sich die maximale Spannungsausnutzung nicht zwingend für den Größtwert der jeweiligen Schnittgröße.

Nachweis der Tragfähigkeit:

Feld Nr.	Stützen	$+M_{d,\text{maßg}} / +M_{Rd}$	$-M_{d,\text{maßg}} / -M_{Rd}$	$ V_d / V_{Rd}$
1	a, b	0.17	0.20	0.30
2	b, c	0.10	0.20	0.28
3	c, d	0.12	0.17	0.27
4	d, e	0.10	0.20	0.28
5	e, f	0.17	0.20	0.30

Der Nachweis der Tragfähigkeit ist erfüllt.

[b]

Verformungen:

Feld Nr.	$w_{Q,\text{inst}}$ [mm]	$w_{\text{fin}} - w_{G,\text{inst}}$ [mm]	w_{fin} [mm]
1	1.3 (L/1933)	1.7 (L/1507)	1.0 (L/2553)
2	0.8 (L/2975)	0.9 (L/2702)	0.2 (L/10994)
3	1.0 (L/2528)	1.2 (L/2146)	0.5 (L/5321)
4	0.8 (L/2975)	0.9 (L/2702)	0.2 (L/10994)
5	1.3 (L/1933)	1.7 (L/1507)	1.0 (L/2553)

Die in DIN 1052:2004-08, Abschnitt 9.2 empfohlenen Grenzwerte der Durchbiegung sind eingehalten.

Auflagerkräfte: (charakteristische Werte)

Stütze	aus g_k [kN/m]	aus s_k [kN/m]	aus $q_{\text{max},k}$ [kN/m]	aus $q_{\text{min},k}$ [kN/m]
a	0.85	0.67	1.12	-0.13
b	2.44	1.92	3.04	-0.22
c	2.10	1.66	2.92	-0.48
d	2.10	1.66	2.92	-0.48
e	2.44	1.92	3.04	-0.22
f	0.85	0.67	1.12	-0.13

Schwingungsnachweis:

Feld Nr.	$w_{G,\text{inst}} + \psi_{2,i} \cdot w_{Q,i,\text{inst}}$ [mm]
1	0.8 < 6 mm
2	0.6 < 6 mm
3	0.6 < 6 mm
4	0.6 < 6 mm
5	0.8 < 6 mm

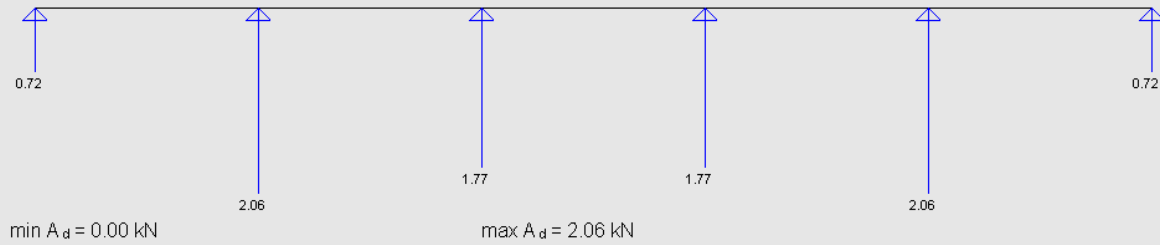
Der Träger ist mit $w = 0.8 \text{ mm} \leq 6 \text{ mm}$ nicht schwingungsanfällig.

Hinweise zur Schwingungsuntersuchung:

Die für den Schwingungsnachweis maßgebende Durchbiegung wird in jedem Innenfeld unter Berücksichtigung aller Streckenlasten (ohne Berücksichtigung von Einzellasten) sowie unter Berücksichtigung der Einspannwirkung direkt benachbarter Innenfelder mit den zugehörigen Biegesteifigkeiten ermittelt.

Auflagerkräfte:

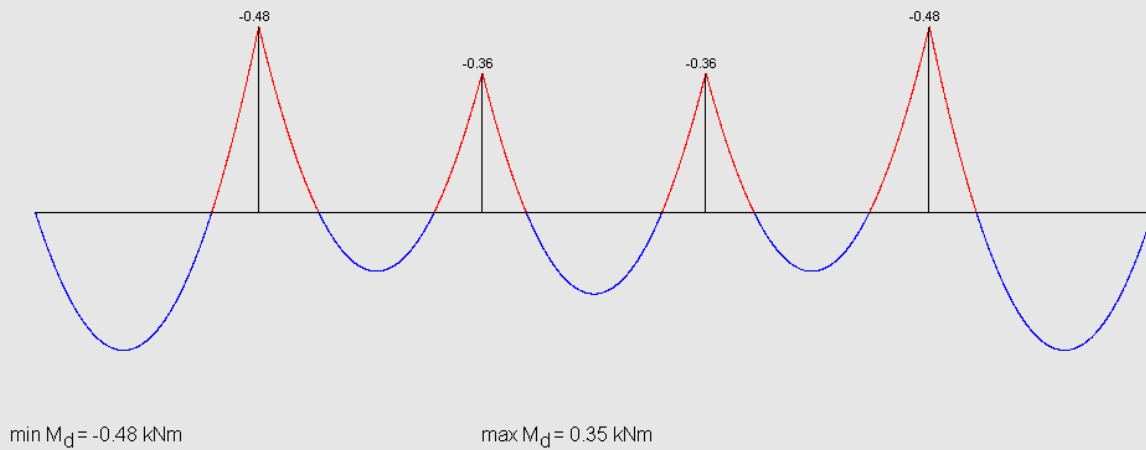
Grenzaufagerkräfte für Lastfallkombination '1,35-ständige Lasten'
Maßgebender Modifikationsbeiwert: $k_{mod} = 0,60$



[b]

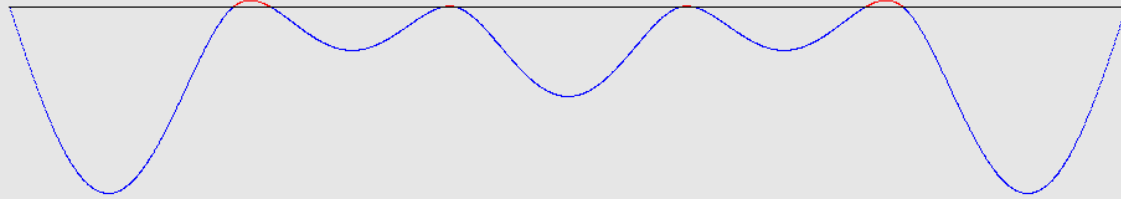
Momentenverlauf

Grenzmomentenlinie für Lastfallkombination '1,35-ständige Lasten'
Maßgebender Modifikationsbeiwert: $k_{mod} = 0,60$



Anfangsverformung

Anfangsverformung aus veränderlichen Lasten in der charakteristischen Bemessungssituation - Schneelasten vorherrschend



min $w_{Q,inst} = -0.0$ mm

max $w_{Q,inst} = 0.5$ mm

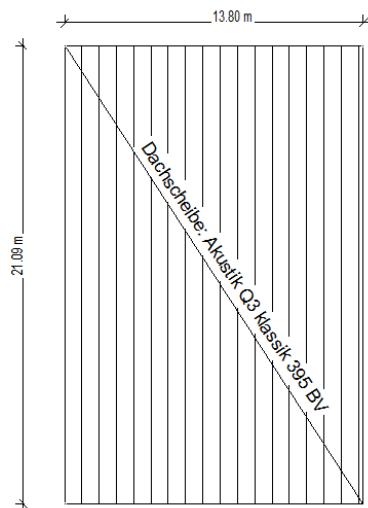
[b]

5.2 Nachweis der Dachscheibe

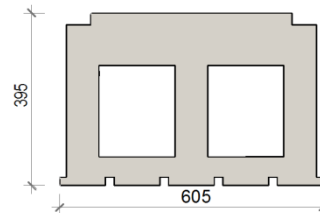
Die Dachscheibe wird mittels Lignotrendelementen realisiert. Die speziellen Akustikelemente bilden den raumseitigen Abschluss.

Systemzeichnung:

[b]



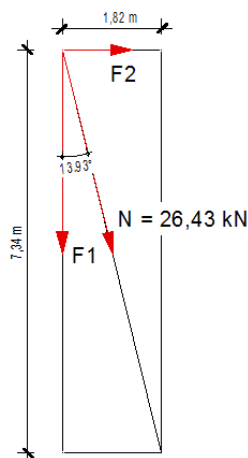
Akustik Q3 klassik 395 BV



Ausgangswerte:

Belastung aus R-Stabmodell Lastfallkombination 6: $F_{\max} = 6,3 \text{ kN}$

Die Dachscheibe wurde im R-Stabmodell mittels Diagonalen simuliert. Die maximal belastete Diagonale wurde zur Ermittlung des Schubflusses herangezogen.



$$F_1 = \cos 13,93^\circ * 26,64 = 25,86 \text{ kN}$$

$$\tau_{\max} = \frac{25,86}{7,34} = 3,52 \text{ kN/m}$$

$$F_2 = \sin 13,93^\circ * 26,64 = 6,41 \text{ kN}$$

5.2.1 Nachweis des Schubflusses im Lignotrend-Element:

zul $V_{R,k,y} = 72,8 \text{ kN}$ → aus Technischem Datenblatt LIGNO Akustik

$$V_{R,d,y} = \frac{V_{R,k,y} * k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{72,8 * 0,9}{1,3} = 50,40 \text{ kN}$$

$$\tau_{zul} = \frac{50,04}{0,625} = 80,64 \text{ kN}$$

[b] Nachweis:

$$\frac{\tau_{max}}{\tau_{zul}} = \frac{3,52}{80,64} = 0,04 < 1,0 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

5.2.2 Nachweis Koppelfuge:

$$\tau_{max} = 3,52 \text{ kN/m}$$

Koppelbrett 26,5 / 142 mm

Nagel 3,8 x 100 mm

$$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$$

$$f_{h,k} = 0,082 * \rho_k * d^{-0,3} = 0,082 * 350 * 3,8^{-0,3} = 19,23 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6} = 0,3 * 600 * 3,8^{2,6} = 5790 \text{ Nmm}$$

$$R_k = \sqrt{2 * M_{y,k} * f_{h,k} * d} = \sqrt{2 * 5790 * 19,23 * 3,8} = 919,88 \text{ N} \cong 0,92 \text{ kN}$$

$$R_d = \frac{R_k * k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{0,92 * 0,9}{1,1} = 0,75 \text{ kN}$$

$$\text{erf } n = \frac{\tau_{max}}{R_d} = \frac{3,52}{0,75} = 4,7 \rightarrow \text{gew. 5 Nägel}$$

jedoch mindestens 2 Nägel je Querbrett und Seite → konstruktiv notwendig 14 Nägel je Meter

5.2.3 Nachweis des Schubflusses im Gurtanschluss:

$$\tau_{max} = 3,52 \text{ kN/m}$$

$$\tau_2 = 3,2 \text{ kN/m}$$

$$\tau_{res} = \sqrt{3,52^2 + 3,2^2} = 4,76 \text{ kN/m}$$

Anschluss an die Giebelwand

[b] Schrauben 8 x 120 mm

$$M_{y,k} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6} = 0,3 * 400 * 6,0^{2,6} = 12658 \text{ Nmm}$$

$$f_{h,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) \rho_k = 0,082 * (1 - 0,01 * 6,0) 350 = 26,98 \text{ N/mm}^2$$

$$R_k = \sqrt{2} \sqrt{2 * M_{y,k} * f_{h,k} * d} = \sqrt{2} \sqrt{2 * 12685 * 26,98 * 4,8} = 2563,4 \text{ N} \cong 2,56 \text{ kN}$$

$$R_d = \frac{R_k * k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{2,56 * 0,9}{1,1} = 2,10 \text{ kN}$$

$$\text{erfn} = \frac{\tau_{res}}{R_d} = \frac{4,76}{2,1} = 2,27 \rightarrow \text{gew. 4 Schrauben je Meter } 6,0 \times 120 \text{ mm}$$

$$e = 100/4 = 25 \text{ cm}$$

Anschluss an Stahlrahmen:

$$R_d = 2,10 \text{ kN}$$

$$\tau = 3,52 \text{ kN/m}$$

$$\text{erfn} = \frac{\tau}{R_d} = \frac{3,52}{2,10} = 1,67$$

→ gew. 4 Sechskant – Holzschrauben DIN 571 6,0 x 120 mm je Meter

5.2.4 Nachweis der Scheibendurchbiegung:

Der Hauptteil der Scheibenverformung resultiert aus der Verschiebung in den Koppelfugen und der Schubverzerrung im Element.

Verschiebung in Koppelfuge:

Steifigkeit der Koppelfuge; Nägel 3,8 x 100 mm

Querbrett $b = 14,6$ cm

$l_{Element} = 10,58$ m

$Q_{max} = 15,87$ kN

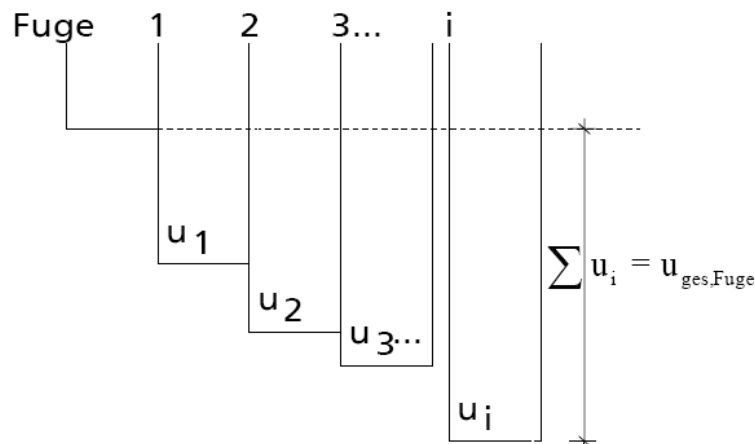
$$C = 2,5 \frac{R_d}{d} = 2,5 \frac{0,75}{3,8} = 0,49 \text{ kN/mm}$$

0,49 kN/mm je Nagel, je Seite, angeordnet werden zwei Nägel je Querbrett daraus folgt

$$n = 2 * \frac{100}{2 * 14,6} = 6,85 \text{ Nägel je lfm un Seite}$$

$$C_{Fuge} = \frac{1}{2} * c * n * l_{Element} * 2$$

$$C_{Fuge} = \frac{1}{2} * 0,49 * 6,85 * 10,58 * 2 = 35,51 \text{ kN/mm}$$



$$u_{ges,Fuge} = \sum u_i = \frac{\sum Q_i}{C_{Fuge}} = \frac{Q_{max} * \left(\frac{n}{n} + \frac{n-1}{n} + \frac{n-2}{n} \dots \frac{1}{n} \right)}{C_{Fuge}} = \frac{Q_{max} * \frac{n * (n+1)}{2 * n}}{C_{Fuge}}$$

$$= \frac{Q_{max} * (n+1)}{2 * C_{Fuge}} = \frac{15,87 * (22+1)}{2 * 35,51} = 5,14 \text{ mm}$$

Die Verformung der Fuge beträgt somit 1,56 mm!

5.2.5 Schubverzerrung im Element:

$GA = 41904 \text{ kN}$ → aus Technische Daten, LIGNO Akustik

$q = 2,19 \text{ kN/m}$

$$\frac{GA}{e_{Elem.}} = \frac{41904}{0,625} * 10,58 = 709350,91 \text{ kN}$$

[b]
$$u_{Ligno} = \frac{1 q * l^2}{8 GA/e} = \frac{1}{8} * \frac{0,0219 * 1380^2}{709350,91} = 1,058 \text{ cm}$$

$$u_{ges} = u_{Ligno} + u_{ges,Fuge} = 1,085 + 0,514 = 1,6 \text{ cm}$$

$$u_{ges} = 1,6 \text{ cm} \leq \frac{l}{200} = \frac{1380}{200} = 6,9 \text{ cm}$$

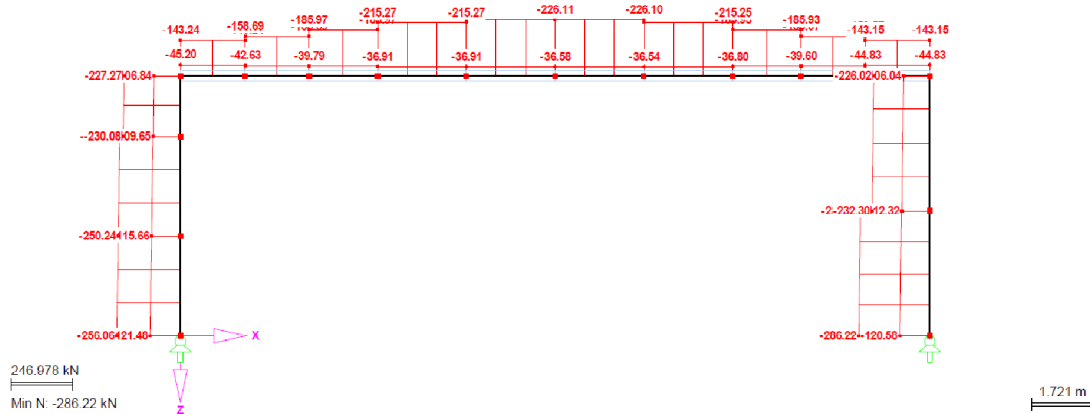
6 Pos.2 Hauptträger

IPE 600; $l = 21,90 \text{ m} = 2190 \text{ cm}$; S 235

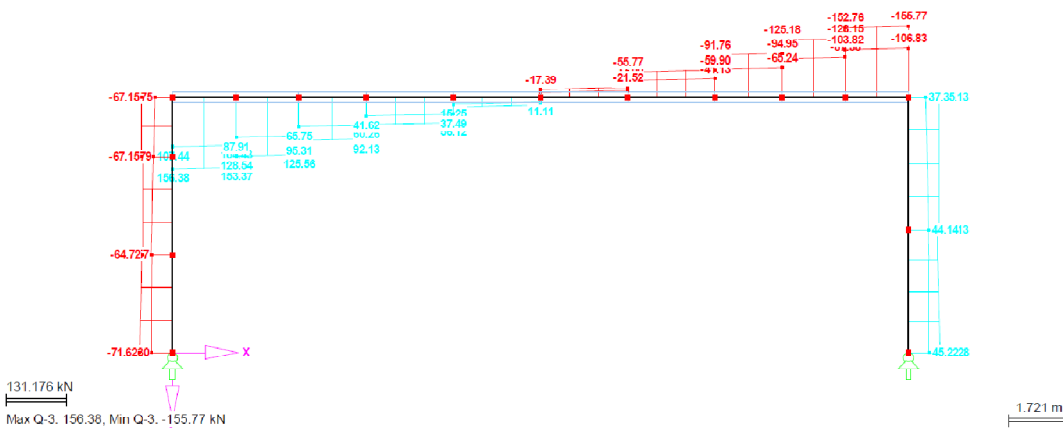
- Schnittgrößen resultierend aus der maßgebenden Lastfallkombination 11.

Normalkräfte

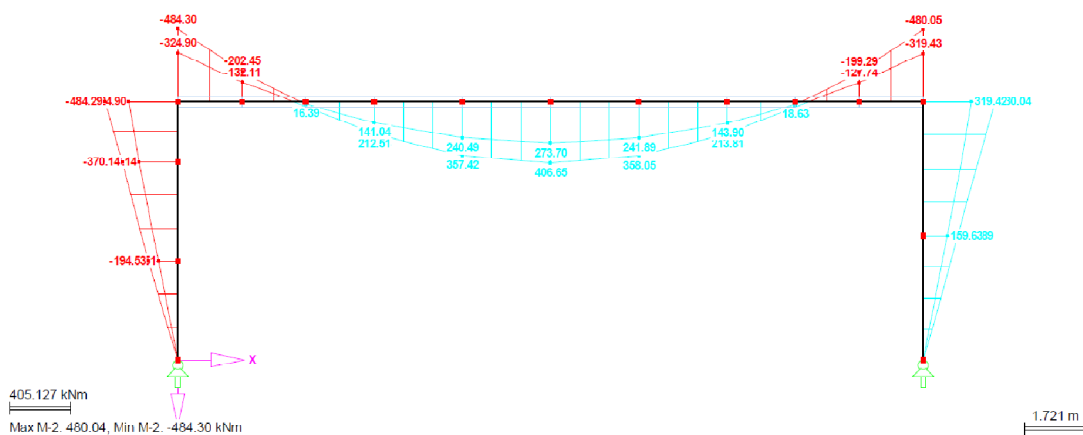
[b]



Querkräfte



Momente



6.1 Nachweis des Riegels

Spannungsnachweise in Feldmitte:

$$\max N = -226,11 \text{ kN}$$

$$\max V = 0 \text{ kN}$$

[b] $\max M = 406,65 \text{ kNm}$

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{226,11}{156} + \frac{40665}{3070} = 14,70 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_m} = \frac{24}{1,1} = 21,82 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_{Rd}} = \frac{14,70}{21,82} = 0,67 < 1 \quad \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Spannungsnachweis am Feldrand:

$$\max N = -143,24 \text{ kN}$$

$$\max V = 156,38 \text{ kN}$$

$$\max M = -484,30 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{143,24}{156} + \frac{48430}{3070} = 16,69 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_m} = \frac{24}{1,1} = 21,82 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_{Rd}} = \frac{16,69}{21,82} = 0,77 < 1 > 0,5 \quad \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

$$\frac{A_{Gurt}}{A_{Steg}} = \frac{43,15}{69,7} = 0,62 > 0,6$$

Vereinfachte Berechnung zulässig.

$$\tau = \frac{V_z}{A_{Steg}} = \frac{156,38}{69,7} = 2,24 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{yd}}{\gamma_m * \sqrt{3}} = \frac{24}{1,1 * \sqrt{3}} = 12,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau}{\tau_{Rd}} = \frac{2,24}{12,6} = 0,18 < 1 < 0,5 \quad \rightarrow \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der Vergleichsspannungen nicht erforderlich.

[b]

Beulnachweis:

$$\text{vorh. } b/t_{Steg} = 42,8$$

$$\text{vorh. } b/t_{Gurt} = 4,21$$

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} + \frac{M}{I} * \frac{h_1}{2} = \frac{-143,24}{156} + \frac{-48430}{92080} * \frac{51,4}{2} = -14,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{A} - \frac{M}{I} * \frac{h_1}{2} = \frac{-143,24}{156} - \frac{-48430}{92080} * \frac{51,4}{2} = 12,59 \text{ kN/cm}^2$$

$$\psi_{Steg} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{12,59}{-14,40} = -0,87 \rightarrow \text{grenz. } b/t_{Steg} = 123,9 > \text{vorh. } b/t_{Steg} = 42,8$$

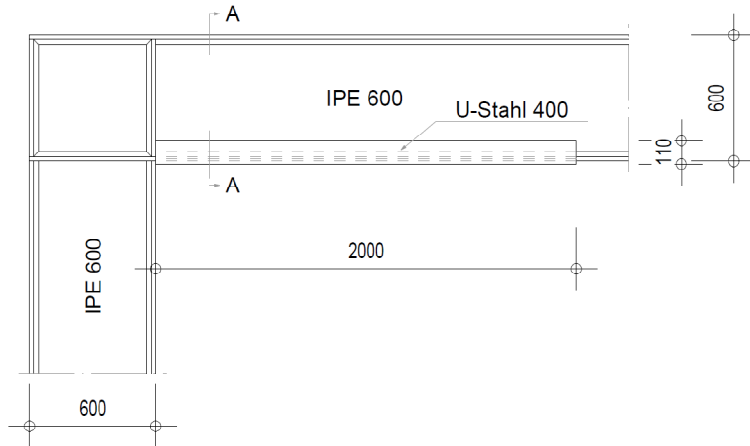
$$\psi_{Gurt} = 1 \rightarrow \text{grenz. } b/t_{Gurt} = 12,9 > \text{vorh. } b/t_{Gurt} = 4,21$$

Stabilitätsnachweis:

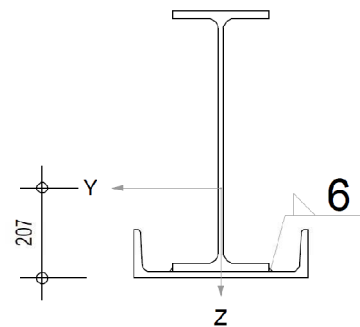
Da der Obergurt des Riegels kontinuierlich durch die Dachscheibe gehalten wird kann hier der Biegedrillknicknachweis als Biegeknicknachweis des Untergurts geführt werden. Da bei vorherigen Berechnungen dieses Nachweises ein Versagen des Rohen IPE 600 Profils rechnerisch ermittelt wurde, wird der Untergurt am Feldrand durch ein zusätzlich angeschweißtes U-Profil 400 verstärkt. Die Verstärkungsmaßnahme wird über eine Länge von 2m von beiden Feldrändern, in die Feldmitte laufend, eingesetzt.



[b]



Schnitt A-A



Querschnittswerte:

$$A = 247,50 \text{ cm}^2; \quad I_y = 140596 \text{ cm}^4; \quad W_y = 3860,55 \text{ cm}^3$$

$$\max N = -143,24 \text{ kN}$$

$$\max M_A = -437,84 \text{ kNm} \text{ Anschnittsmoment}$$

Knicklängenbeiwert nach Petersen (Knicklängen für isolierte Gurte)

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{143,24}{247,5} + \frac{43784}{3860,5} = 11,92 \text{ kN/cm}^2$$

$$\alpha = \frac{M_F}{M_{St}} = \frac{406,65}{-484,30} = -0,84 \rightarrow \beta = 0,5$$

$$h/5 = \frac{(h-2*t)}{5} = \frac{(600-2*19)}{5} = 112,4 \text{ mm} = 11,24 \text{ cm}$$

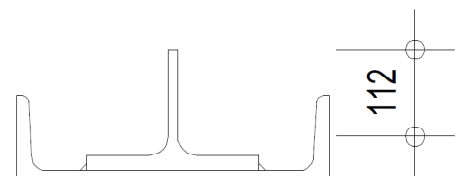
$$A_{\frac{1}{5}} = 13,49 + 41,8 + 91,5 = 146,79 \text{ cm}^2$$

$$I_z = 1,62 + 1685,93 + 20350 = 22037,55 \text{ cm}^4$$

$$s_{kz} = \beta * l = 0,5 * 2190 = 1095 \text{ cm}$$

$$i_{zg} = \sqrt{\frac{I_z}{A_{\frac{1}{5}}}} = \sqrt{\frac{22037,55}{146,79}} = 12,25 \text{ cm}$$

$$\lambda_{kz} = \frac{s_{kz}}{i_{zg}} = \frac{1095}{12,25} = 89,36$$

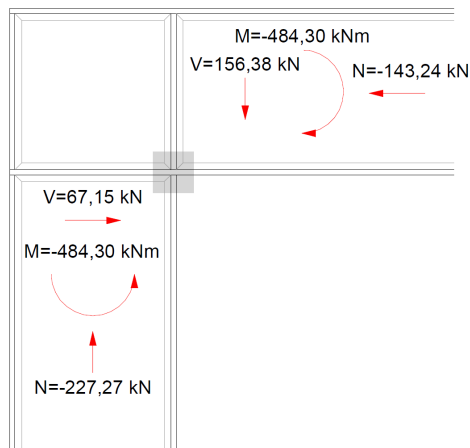


$$\bar{\lambda}_{kz} = \frac{\lambda_{kz}}{\lambda_a} = \frac{89,36}{92,9} = 0,96; \quad Ksl \ c; \quad \kappa = 0,565$$

$$\frac{\sigma}{\kappa * \sigma_{Rd}} = \frac{11,92}{0,565 * 21,82} = 0,97 < 1 \quad \rightarrow \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der lokalen Stabilität an der Innenecke der biegesteifen Ecke:

[b]



Der Nachweis der lokalen Stabilität wird an der Innenecke der biegesteifen Rahmenecke geführt. Dort werden die maximalen Druckkräfte auftreten. Vereinfacht werden als Druckfläche die Gurtdicke $t=19\text{mm}$ angenommen. Die Belastung ist der Druckanteil aus dem Moment.

$$N_M = \frac{M}{h} = \frac{48430}{60} = 807,17 \text{ kN}$$

$$l = c + 2,5 * (t + r) = 1,9 + 2,5 * (1,9 + 2,4) = 12,65 \text{ cm}$$

$$A_{ges.} = A_{Steg} + A_{Steifen} = 12,65 * 1,2 + 2 * 1,9 * 6,4$$

$$A_{ges.} = 39,5 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{N_M}{A_{ges.}} = \frac{807,17}{39,5} = 20,43 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{24}{1,1} = 21,82 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_{R,d}} = \frac{20,43}{21,82} = 0,94 < 1 \quad \rightarrow \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der Schweißnaht der Steifen:

$$N_s = 1,9 * 6,4 * 20,43 = 248,43 \text{ kN}$$

$$M_s = 248,43 * 7,3 = 1788,69 \text{ kNcm}$$

$$A_w = 0,8 * 48,2 * 2 = 77,12 \text{ cm}^2$$

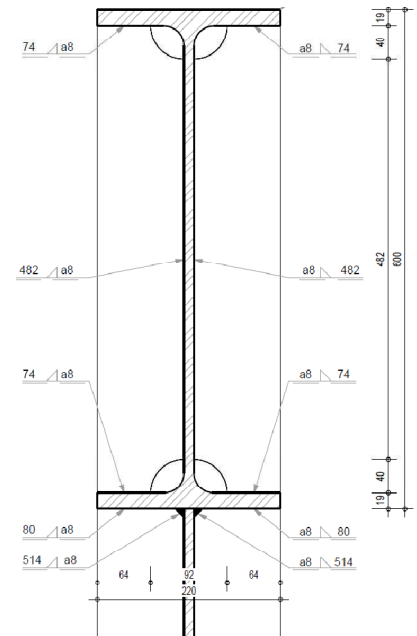
$$I_w = \frac{0,8 * 48,2^3}{12} = 7465,34 \text{ cm}^4$$

[b]
$$\tau_{\parallel} = \frac{N_s}{A_w} = \frac{248,43}{77,12} = 3,22 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{M_s}{I_w} * \frac{h_w}{2} = \frac{1788,69}{7465,34} * \frac{48,2}{2} = 5,77 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_w = \sqrt{\tau_{\parallel}^2 + \sigma_{\perp}^2} = \sqrt{3,22^2 + 5,77^2} = 6,61 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_w * \frac{f_{y,k}}{\gamma_m} = 0,95 * \frac{24}{1,1} = 20,72 \text{ kN/cm}^2$$



$$\frac{\sigma_w}{\sigma_{w,R,d}} = \frac{6,61}{20,72} = 0,32 < 1 \quad \rightarrow \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der Schweißnaht:

Nahtdickenbegrenzung für Kehlnähte

$$2 \leq 6 \leq 0,7 \min t = 0,7 * 14 = 9,8 \text{ mm} \checkmark$$

$$6 \geq \sqrt{\max t} - 0,5 = \sqrt{19} - 0,5 = 3,86 \text{ mm} \checkmark$$

$$\max N = -143,24 \text{ kN}$$

$$\max M_A = -437,84 \text{ kNm} \quad \text{Anschnittsmoment}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_A}{I_y} * z = \frac{143,24}{247,5} + \frac{43784}{140596} * 19,3 = 6,59 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \sigma * (n * a_w) = 6,59 * (2 * 0,6) = 7,91 \text{ kN/cm}$$

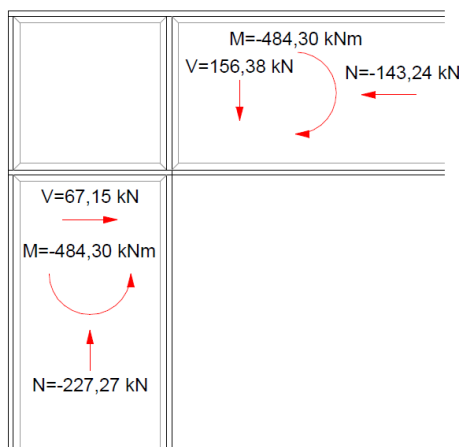
$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_w * \frac{f_{y,k}}{\gamma_m} = 0,95 * \frac{24}{1,1} = 20,72 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma'_{w,R,d} = \sigma_{w,R,d} * a_w * n = 20,72 * 0,6 * 2 = 24,86 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_{\parallel}}{\sigma'_{w,R,d}} = \frac{7,91}{24,86} = 0,32 < 1 \quad \rightarrow \text{ Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der Rahmenecke:

[b]



Berechnung nach Petersen:

$$T_{RL} = T = \frac{M_s}{ab} - \frac{V_s}{2 * a} - \frac{N_s}{2 * b}$$

$$\text{mit } a = b = h - n * \frac{t}{2} = 0,6 - 2 * \frac{0,019}{2} = 0,581 \text{ m}$$

$$T = \frac{-484,30}{0,581^2} - \frac{-67,15}{2 * 0,581} - \frac{-227,27}{2 * 0,581} = -1181,32 \text{ kN/m}$$

$$T = -11,81 \text{ kN/cm}$$

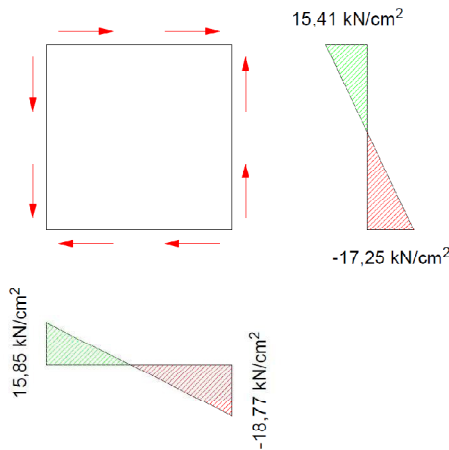
$$\tau = \frac{T}{t} = \frac{-11,81}{1,9} = -6,22 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_m * \sqrt{3}} = \frac{24}{1,1 * \sqrt{3}} = 12,60 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau}{\tau_{R,d}} = \frac{6,22}{12,60} = 0,49 < 1 < 0,5 \quad \rightarrow \text{ Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der Vergleichsspannungen nicht erforderlich.

Nachweis der Schubfläche



[b]

$$\sigma_a^I = \frac{N}{A} + \frac{M_A}{I_y} * z = \frac{-143,24}{156} + \frac{-43784}{92080} * \frac{68,7}{2}$$

$$\sigma_a^I = -0,92 - 16,33 = -17,25 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_b^I = -0,92 + 16,33 = 15,41 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_a^{II} = \frac{N}{A} + \frac{M_A}{I_y} * z = \frac{-227,27}{156} + \frac{-464,15}{92080} * \frac{68,7}{2}$$

$$\sigma_a^{II} = -1,46 - 17,31 = -18,77 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_b^{II} = -1,46 + 17,31 = 15,85 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau}{\tau_{R,d}} = \frac{6,22}{12,60} = 0,49 < 1 < 0,5 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

$$\frac{\sigma_a^{II}}{\sigma_{R,d}} = \frac{18,77}{21,82} = 0,86 < 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der Vergleichsspannungen nicht erforderlich.

Beulnachweis der Schubfläche:

$$\psi = -1 \approx \text{zul. } b/t = 80$$

$$\psi = 0 \approx \text{zul. } b/t = 70$$

$$\text{vorh. } \frac{b}{t} = \frac{68,7}{1,2} = 57,25 < \text{zul. } \frac{b}{t} = 70 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

6.2 Nachweis der Stütze:

$$\max N = -256,06 \text{ kN}$$

$$\max V = -71,62 \text{ kN}$$

$$\max M = -484,29 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{-256,06}{156} + \frac{-484,29}{3070} = -17,41 \text{ kN/cm}^2$$

$$[b] \quad \sigma_{Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_m} = \frac{24}{1,1} = 21,82 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_{Rd}} = \frac{17,41}{21,82} = 0,79 < 1 > 0,5 \quad \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

$$\frac{A_{Gurt}}{A_{Steg}} = \frac{43,15}{69,7} = 0,62 > 0,6$$

→ Vereinfachte Berechnung zulässig.

$$\tau = \frac{V_z}{A_{Steg}} = \frac{71,62}{69,7} = 1,02 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{yd}}{\gamma_m * \sqrt{3}} = \frac{24}{1,1 * \sqrt{3}} = 12,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau}{\tau_{Rd}} = \frac{1,02}{12,6} = 0,08 < 1 < 0,5 \quad \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der Vergleichsspannungen nicht erforderlich.

Beulnachweis:

$$\text{vorh. } b/t_{Steg} = 42,8$$

$$\text{vorh. } b/t_{Gurt} = 4,21$$

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} + \frac{M}{I} * \frac{h_1}{2} = \frac{-256,06}{156} + \frac{-484,29}{92080} * \frac{51,4}{2} = -1,64 - 13,52 = -15,16 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{A} - \frac{M}{I} * \frac{h_1}{2} = \frac{-256,06}{156} - \frac{-484,29}{92080} * \frac{51,4}{2} = -1,64 + 13,52 = 11,88 \text{ kN/cm}^2$$

$$\psi_{Steg} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{11,88}{-15,16} = -0,78 \rightarrow \text{grenz. } b/t_{Steg} = 117,6 > \text{vorh. } b/t_{Steg} = 42,8$$

$$\psi_{Gurt} = 1 \rightarrow \text{grenz. } b/t_{Gurt} = 12,9 > \text{vorh. } b/t_{Gurt} = 4,21$$

Stabilitätsnachweis:

Da die Stütze durch die Wandtafeln in senkrecht zur z-Achse am Knicken und durch die kontinuierliche Verschraubung mit der Tafel am Drillen behindert wird, wird hier nur den Biegeknicknachweis senkrecht zur y-Achse geführt.

- Ermittlung des Knicklängenbeiwertes β nach Wendehorst 31. Auflage Tafel 32 Seite 677 :

[b]

$$c = \frac{I * b}{I_o * h} = \frac{92080 * 21,09}{92080 * 7,33} = 2,88 \leq 10 \leq 5; \quad m = 1; \quad n = 0$$

$$\beta_k = \sqrt{1 + 0,48n} * \sqrt{1/2 * (1 + m)} * \sqrt{4 + 1,4c + 0,02c^2}$$

$$\beta_k = \sqrt{1/2 * 2} * \sqrt{4 + 1,4 * 2,88 + 0,02 * 2,88^2} = 2,86$$

Biegeknicknachweis:

$$s_k = \beta_k * h = 2,86 * 7,33 = 20,9638 \text{ m} = 2096,38 \text{ cm}$$

$$\lambda_k = \frac{s_k}{i} = \frac{2096,38}{24,3} = 86,27$$

$$\bar{\lambda}_k = \frac{\lambda_k}{\lambda_a} = \frac{86,27}{92,9} = 0,93; \quad Ksl a; \quad \kappa = 0,715$$

$$N_{pl,d} = 3403,6 \text{ kN}$$

$$\frac{N}{\kappa * N_{pl,d}} = \frac{256,06}{0,715 * 3403,6} = 0,11 < 1 > 0,1$$

$$\beta_m = 0,94 = \max \begin{cases} \beta_{m,\psi} = 0,66 + 0,44 * \psi = 0,66 + 0,44 * 0 = 0,66 \\ \beta_{m,\psi} = 1 - \frac{1}{\eta_{ki}} = 1 - \frac{1}{15,42} = 0,94 \\ 0,44 \end{cases}$$

$$\eta_{ki} = \frac{N_{ki,d}}{N} = \frac{3947,77}{256,06} = 15,42$$

$$N_{ki,d} = \frac{\pi^2 * EI}{s_k^2 * \gamma_m} = \frac{\pi^2 * 21000 * 92080}{2096,38^2 * 1,1} = 3947,77 \text{ kN}$$

$$M_{pl,d} = 766,36 \text{ kNm}$$

$$\Delta n = \frac{N}{\kappa * N_{pl,d}} \left(1 - \frac{N}{\kappa * N_{pl,d}} \right) * \kappa^2 * \bar{\lambda}_k^2 = 0,11 * (1 - 0,11) * 0,715^2 * 0,93^2 = 0,043$$

$$\frac{N}{\kappa * N_{pl,d}} + \frac{\beta_m * M}{M_{pl,d}} + \Delta n = 0,11 + \frac{0,94 * 484,29}{766,36} + 0,043 = 0,75 < 1$$

→ Nachweis erfüllt

6.3 Berechnung der Schrauben am Montagestoß des Hauptträgers

[b]

Stahlprofil: IPE 600; S235

Schrauben: M24; 10.9; SLV- Verbindung

Schnittgrößen aus dem R-Stabmodell:

$$N_{A,d} = 88 \text{ kN}$$

$$V_{A,d} = 115 \text{ kN}$$

$$M_{A,d} = 20 \text{ kNm}$$

Nachweisform: Berücksichtigung der Plastizitätstheorie

Überprüfung der Zulässigkeit des Verfahrens:

$$\frac{I_{St}}{I_{ge}} = \frac{s_t * (h_t - t_{f,t})^3}{12 * I_t} = \frac{1,2 * (60 - 1,9)^3}{12 * 92080} = 0,021 < 0,15$$

$$M_{y,el,d} = W_{el} * f_{y,d} = 3070 * \frac{24}{1,1} = 66981,81 \text{ kNcm}$$

$$\frac{M_d}{M_{y,el,d}} = \frac{20}{669,8} = 0,03 < 1,0$$

→ Verfahren ist zulässig!

Schnittgrößenverteilung:

$$\text{Zugflansch: } N_z = \frac{N_d}{2} + \frac{M_{y,d}}{h_f - t} = \frac{88}{2} + \frac{2000}{60 - 1,9} = 78,42 \text{ kN}$$

$$N_D = \frac{N_d}{2} - \frac{M_{y,d}}{h_f - t} = \frac{88}{2} - \frac{2000}{60 - 1,9} = 9,58 \text{ kN}$$

Vorwerte:

$$a_1 = 100 - 1,9/2 = 49,05 \text{ mm}$$

$$e_1 = 60 \text{ mm}$$

[b] $a_{fl} = 10 \text{ mm}$

$$d_p = 30 \text{ mm}$$

$$b_p = 220 \text{ mm}$$

$$D = 60 \text{ mm}$$

$$c_1 = a_1 - a_{Fl} * \frac{\sqrt{2}}{3} - \frac{D + d_p}{4} = 49,05 - 10 * \frac{\sqrt{2}}{3} - \frac{60 + 30}{4} = 21,84 \text{ mm} \cong 2,18 \text{ cm}$$

$$M_{I,pl,d} = 1,1 * \sigma_{Rd} * b_p * \frac{d_p^2}{4} = 1,1 * \frac{24}{1,1} * 22 * \frac{3,0^2}{4} = 1188 \text{ kNcm}$$

$$M_{II,pl,d} = 1,1 * \sigma_{Rd} * (b_p - \sum d_l) * \frac{d_p^2}{4} = 1,1 * \frac{24}{1,1} (22 - 2 * 2,5) * \frac{3,0^2}{4} = 918 \text{ kNcm}$$

Versagensart 1:

$$Z_t = 2 * \frac{(M_{I,pl,d} + M_{II,pl,d})}{c_1} = \frac{2 * (1188 + 918)}{2,18} = 1932,11 \text{ kN} > N_z = 78,42 \text{ kN}$$

Versagensart 2:

$$N_{R,d} = 257 \text{ KN} \rightarrow \text{aus Schneider Bautabellen}$$

$$Z_t = \frac{2 * (M_{I,pl,d} + e_1 * \sum N_{R,d})}{e_1 + c_1} = \frac{2 * (1188 + 6 * 2 * 257)}{6,0 + 2,18} = 1044,5 \text{ kN} > N_z = 78,2 \text{ kN}$$

Versagensart 3:

$$Z_t = 2 * \sum N_{R,d} = 2 * 2 * 257 = 1028 \text{ kN} > N_z = 78,42 \text{ kN}$$

Versagensart 4:

$$Z_t = 2 * V_{pl,d} = 2 * b_p * d_p * \frac{\sigma_{R,d}}{\sqrt{3}} = 2 * 22 * 3 * \frac{24}{\sqrt{3}} = 1662,77 \text{ kN} > 78,42 \text{ kN}$$

Schrauben im Druckbereich:

$$V = 115/2 = 57,5 \text{ kN}$$

[b] $V_{a,R,d} = 226 \text{ kN}$

$$e_2 = 60 \text{ mm} > 1,5 * d_1 = 1,5 * 25 = 37,5 \text{ mm}$$

$$e_3 = 100 \text{ mm} > 3 * d_1 = 3 * 25 = 75 \text{ mm}$$

$$e_1 = 60 \text{ mm} \rightarrow V_{LR,d}^{10mm} = 157 \text{ kN}$$

$$e = 540 \text{ mm} \rightarrow V_{LR,d}^{10mm} = 158 \text{ kN}$$

$$V_{l,R,d} = 157 * 3,0 = 471 \text{ kN}$$

$$V_{a,R,d} = 226 \text{ kN} \text{ Schaft in der Scherfuge} \rightarrow \text{aus Schneider Bautabellen}$$

Nachweis:

$$\frac{V}{V_{a,R,d}} = \frac{57,5}{226} = 0,25 < 1,0 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

6.4 Berechnung der Schweißnaht am Montagestoß des Hauptträger

Nachweis der Schweißnahtdicke:

$$\min t_{St} = 12 \text{ mm}$$

$$\min t_{Fl} = 19 \text{ mm}$$

$$\max t = 30 \text{ mm}$$

[b]

Steg:

$$2 \leq a \leq 0,7 \min t$$

$$a \geq \sqrt{\max t} - 0,5$$

$$2 \leq a \leq 0,7 * 12 = 8,4 \text{ mm}$$

$$a \geq \sqrt{30} - 0,5 = 4,97 \text{ mm}$$

$$\rightarrow A_w = 6 \text{ mm}$$

Flansch:

$$2 \leq a \leq 0,7 \min t$$

$$a \geq \sqrt{\max t} - 0,5$$

$$2 \leq a \leq 0,7 * 19 = 13,3 \text{ mm}$$

$$a \geq \sqrt{30} - 0,5 = 4,97 \text{ mm}$$

$$\rightarrow A_w = 10 \text{ mm}$$

Querschnittswerte:

$$A_w = 2 * 22 * 1,0 + (22 - 1,2 - 2 * 2,4) * 2 * 1,0 + 51,4 * 2 * 0,6 = 137,68 \text{ cm}^2$$

$$I_w = 2 * 0,6 * \frac{51,4^3}{12} + 4 * (22 - 1,2 - 2 * 2,4) * \left(\frac{51,4}{2}\right)^2 * 1,0 + 2 * 22 * 30,0^2 * 1,0$$

$$= 95451,03 \text{ cm}^4$$

Belastung:

$$N_d = 88 \text{ kN}$$

$$V_d = 115 \text{ kN}$$

$$M_d = 2000 \text{ kNcm}$$

Berechnung:

$$[b] \quad \sigma_{W,R,d} = \alpha_W * \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 0,95 * \frac{24}{1,1} = 20,7 \text{ kN/cm}^2$$

- Am oberem Rand keine Schubspannungen

$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{A_W} + \frac{M * z}{I_W} = \frac{88}{137,68} + \frac{2000}{95451,03} * 30 = 1,267 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis:

$$\frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{W,R,d}} = \frac{1,267}{20,7} = 0,06 \leq 1,0 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

- Flansch Innenseite

$$\sigma_{\perp} = \frac{F}{A_W} + \frac{M * z}{I_W} = \frac{88}{137,68} + \frac{2000}{95451,03} * 25,7 = 1,18 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{St} = 51,4 * 2 * 0,6 = 61,8 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V}{A_{St}} = \frac{115}{61,68} = 1,86 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{W,V} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{1,18^2 + 1,86^2} = 2,20 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis:

$$\frac{\sigma_{W,V}}{\sigma_{W,R,d}} = \frac{2,20}{20,7} = 0,106 \leq 1,0 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

6.5 Nachweis des Stützenfußes am Hauptträger

Berechnung der Schweißnaht Stützenfuß – Fußplatte

Bauteile: S 235

Fußplatte $t = 30 \text{ mm}$

IPE 600 Flansch $t = 19 \text{ mm}$

Steg $s = 12 \text{ mm}$

[b]

Nachweis der Schweißnahtdicke:

Steg: $2 \leq a \leq 0,7 * \min t$

$$2 \leq a \leq 0,7 * 12 = 8,4 \text{ mm}$$

$$a \geq \sqrt{\max t} - 0,5$$

$$a \geq \sqrt{30} - 0,5 = 4,97 \text{ mm}$$

Flansch: $2 \leq a \leq 0,7 * \min t$

$$2 \leq a \leq 0,7 * 19 = 13,3 \text{ mm}$$

$$a \geq \sqrt{\max t} - 0,5$$

$$a \geq 4,97 \text{ mm}$$

→ gewählte Schweißnahtdicke 6 mm

Querschnittswerte:

$$A_{w,St} = 51,4 * 0,6 * 2 = 61,68 \text{ cm}^2$$

$$A_{w,Fl} = 2 * 22 * 0,6 + 2 * (22 - 1,2 - 2,4 - 2,4) * 0,6 = 45,6 \text{ cm}^2$$

Beanspruchung aus Querkraft:

$$V_1 = 90 \text{ KN}$$

$$V_2 = 74,5 \text{ KN}$$

$$\tau_{\parallel,St} = \frac{V}{A} = \frac{90}{61,68} = 1,45 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\parallel,Fl} = \frac{V}{A} = \frac{74,5}{45,6} = 1,63 \text{ kN/cm}^2$$

[b]

Beanspruchung aus Normalkraft:

$$N_1 = -234,5 \text{ KN}$$

$$A = 61,68 + 45,6 = 107,28 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{N}{A} = \frac{-234,5}{167,28} = 1,40 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{W,V} = \sqrt{\tau_{\parallel,Fl} + \sigma_{\perp}} = \sqrt{1,63^2 + 1,40^2} = 2,14 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{W,R,d}} = \frac{1,45}{20,7} = 0,07 < 1,0$$

Nachweis:

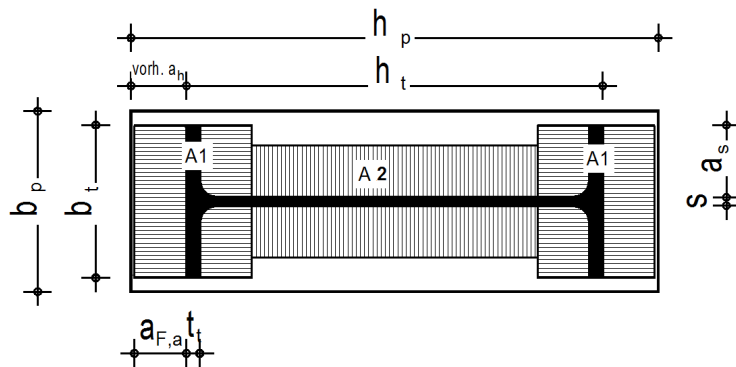
$$\frac{\sigma_{W,V}}{\sigma_{W,R,d}} = \frac{2,14}{20,7} = 0,10 < 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

6.1 Nachweis der Betonpressung unter der Fußplatte des Hauptträgers

Fußplatte ohne Biegung

Lastausbreitung:

[b]



$$a_{F,a} = 2,5 * t_{pl} = 2,5 * 30 = 75 \text{ mm}$$

$$a_s = 2,5 * t_{pl} = 2,5 * 30 = 75 \text{ mm}$$

$$A_1 = b_t * (2 * a_{F,a} + t) = 22 * (2 * 7,5 + 1,9) = 371,8 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = (h_t - 2 * (t + a_{F,a})) * (2 * a_s + s) = (60 - 2 * (7,5 + 1,2)) * (2 * 7,5 + 1,2) \\ = 690,7 \text{ cm}^2$$

$$A = 2 * A_1 + A_2 = 2 * 371,8 + 609,7 = 1434,30 \text{ cm}^2$$

Vorhandene Betonpressung:

Belastung: $F = -261 \text{ kN}$

Beton: C 20/25

$$\sigma_B = \frac{F}{A} = \frac{261}{1434,30} = 0,18 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{B,R,d} = \frac{f_{c,k}}{\gamma_c} * 0,85 = \frac{2,0}{1,5} * 0,85 = 1,13 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis:

$$\frac{\sigma_B}{\sigma_{B,R,d}} = \frac{0,18}{1,13} = 0,14 < 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Da die Auslastung nur bei 14% liegt werden hier die Fehlflächen (Bolzenlöcher) nicht mit berücksichtigt. Bei einer hohen Auslastung sollt man sie jedoch berücksichtigen!

In der EDV-Berechnung sind die Fehlflächen berücksichtigt und es liegt eine Auslastung von 18% vor.

6.2 Lagesicherheit; Gleiten

[b]

Belastung: $V_1 = 90 \text{ kN}$

$V_2 = 74,5 \text{ kN}$

$$V_{res} = \sqrt{90^2 + 74,5^2} = 116,83 \text{ kN}$$

$N_d = 261 \text{ kN}$

Eingangswerte:

$\mu = 0,5$

2 Schraube M 20; SL; 10.9 $V_{A,R,d} = 157 \text{ kN}$

$$V_{R,d} = N_d * \frac{\mu}{1,5} + V_{A,R,d} = 261 * \frac{0,5}{1,5} + 2 * 157 = 401 \text{ kN}$$

Nachweis:

$$\frac{V_{res}}{V_{R,d}} = \frac{116,83}{401} = 0,29 < 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

7 Pos.3 Nachweis der Eckstütze

Beanspruchung: Biegeknicknachweis für zweiachsige Biegung mit Normalkraft

Schnittgrößen:

$N_d = 10,38 \text{ kN}$

$M_{z,d} = 2,99 \text{ kNm}$

$M_{y,d} = 5,76 \text{ kNm}$

Querschnittswerte: IPE 200

$l = 733 \text{ cm}$	$I_y = 1940 \text{ cm}^4$	$S_y = 110 \text{ cm}^3$
$h = 20 \text{ cm}$	$i_y = 8,26 \text{ cm}$	$W_y = 194 \text{ cm}^3$
$b = 10 \text{ cm}$	$I_z = 142 \text{ cm}^4$	$W_z = 28,5 \text{ cm}^3$
$A = 28,5 \text{ cm}$	$i_z = 2,24 \text{ cm}$	

[b]

$$N_{pl,d} = 622 \text{ kN}$$

$$M_{pl,y,d} = 4800 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,z,d} = 973 \text{ kNm}$$

$$\text{Nachweis: } \frac{N_d}{\kappa \cdot N_{pl,d}} + \frac{M_{y,d}}{M_{pl,y,d}} * \kappa_y + \frac{M_{z,d}}{M_{pl,z,d}} * \kappa_z \leq 1,0$$

κ :

$$\kappa = \min(\kappa_y, \kappa_z)$$

Knicklänge:

$$s_{k,z} = \beta * l = 1 * 733 = 733 \text{ cm} \quad \beta = 1$$

$$\lambda_{kz} = \frac{s_{k,z}}{i_z} = \frac{733}{2,24} = 327,23$$

$$\bar{\lambda}_{kz} = \frac{\lambda_{k,z}}{\lambda_a} = \frac{327,23}{92,9} = 3,52 \quad \text{S 235 } t \leq 40 \text{ mm} \rightarrow \lambda_a = 92,9$$

$$h/b = 20/10 = 2 \quad \text{KSL b } \bar{\lambda}_{k,z} = 3,52 \quad \rightarrow \quad \kappa_z = 0,1$$

Knicklänge:

Bestimmung der Knicklänge für den Rahmenstiel mittels Tafel 8.54 Knicklängenbeiwert

$$I_{\text{Riegel}} = 1940 \text{ cm}^4$$

$$l_R = 323 \text{ cm}$$

$$I_{\text{Stiel}} = 1940 \text{ cm}^4 \quad l_s = 733 \text{ cm}$$

$$\sum a * K_o = \frac{1 * I_R}{l_R} = \frac{1 * 1940}{323} = 6,00 \text{ cm}^3$$

$$K_s = \frac{I_s}{l_s} = \frac{1940}{733} = 2,64 \text{ cm}^3$$

$$c_o = \frac{1}{1 + \sum \alpha * \frac{K_o}{K_s}} = \frac{1}{1 + \frac{6,00}{2,64}} = 0,3055 \quad c_u = 1$$

$$\rightarrow \beta = 0,78$$

[b]

$$s_{k,y} = \beta * l = 0,78 * 733 = 572 \text{ cm}$$

$$\lambda_{k,y} = \frac{s_{k,y}}{i_y} = \frac{572}{8,26} = 69,25$$

$$\bar{\lambda}_{k,y} = \frac{\lambda_{k,y}}{\lambda_a} = \frac{69,25}{92,9} = 0,75$$

$$h/b = 20/10 = 2 > 1,2 \quad \text{KSL a} \quad \bar{\lambda}_{k,y} = 0,75 \quad \rightarrow \quad \kappa_y = 0,825$$

$$\rightarrow \min \kappa = 0,1$$

k_y :

$$N_{ki,d} = \frac{\pi * E * I}{s_{k,y} * 1,1} = \frac{\pi^2 * 21000 * 1940}{572^2 * 1,1} = 1117,21 \text{ kN}$$

$$\eta_{ki} = \frac{N_{ki,d}}{N_d} = \frac{1117,21}{10,38} = 107,63$$

$$\beta_{m,y} = 0,66 + 0,44 * \psi = 0,66 + 0,44 * 0 = 0,66$$

$$\text{jedoch} \quad \beta_{m,y} \geq 1 - \frac{1}{\eta_{ki}} = 1 - \frac{1}{107,63} = 0,99$$

$$W_{pl} = 2 * S_y = 2 * 110 = 220 \text{ cm}^3$$

$$\alpha_{pl,y} = \frac{W_{pl}}{W_y} = \frac{220}{194} = 1,13$$

$$a_y = \bar{\lambda}_{k,y} (2 * \beta_{m,y} - 4) + (\alpha_{pl,y} - 1) = 0,75 (2 * 0,99 - 4) + (1,13 - 1) = -1,39 \leq 0,8$$

$$k_y = 1 - \frac{N_d}{\kappa_y * N_{pl,d}} * a_y = 1 - \frac{10,38}{0,825 * 622} * -1,39 = 1,03 \leq 1,5$$

k_z :

$$\beta_{m,z} = 1,0$$

$$\alpha_{pl,z} = \frac{W_{pl}}{W_z} = \frac{220}{28,5} = 7,72$$

[b] $a_z = \bar{\lambda}_{k,z}(2 * \beta_{m,z} - 4) + (\alpha_{pl,z} - 1) = 3,52(2 * 1 - 4) + (7,72 - 1) = -0,32 \leq 0,8$

$$k_z = 1 - \frac{N_d}{\kappa_z * N_{pl,d}} * a_z = 1 - \frac{10,38}{0,1 * 622} * -0,32 = 1,05 \leq 1,5$$

Nachweis:

$$\frac{N_d}{\kappa * N_{pl,d}} + \frac{M_{y,d}}{M_{pl,yd}} * k_y + \frac{M_{z,d}}{M_{pl,z,d}} * k_z \leq 1,0$$

$$\frac{10,38}{0,1 * 622} + \frac{576}{4800} * 1,03 + \frac{299}{973} * 1,05 = 0,61 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

8 Pos.4 Einhüftiger-Rahmen

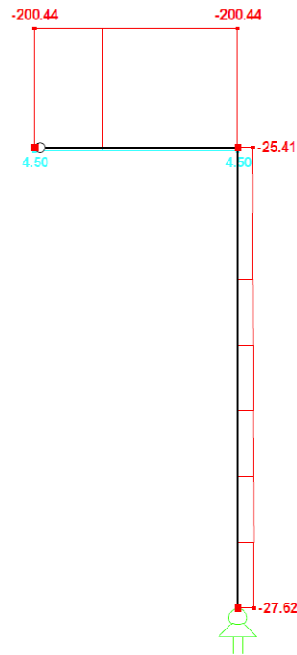
IPE 200; $l = 3,23 \text{ m} = 323 \text{ cm}; h = 7,33 \text{ m} = 733 \text{ cm};$ S 355

- Schnittgrößen resultierend aus der maßgebenden Lastfallkombination 11.

Normalkräfte

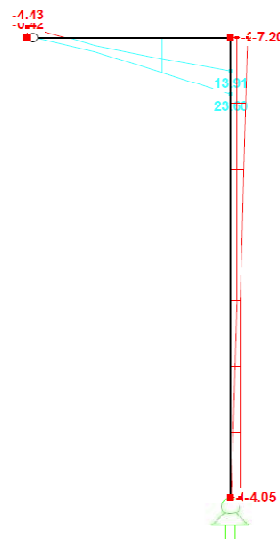
Max/Min Schnittgrößen N

[b]



128.832 kN
Max N: 4.50, Min N: -200.44 kN

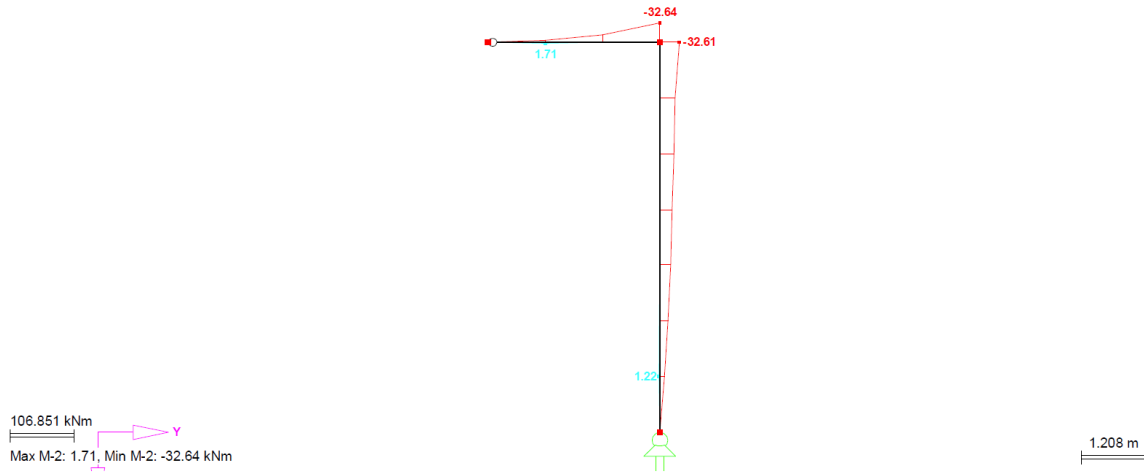
Querkräfte



31.556 kN
Max Q-3: 29.60, Min Q-3: -7.20 kN

Momente

[b]



8.1 Nachweis des Riegels

Spannungsnachweise:

$$\max N = -200,44 \text{ kN}$$

$$\max V = 23,60 \text{ kN}$$

$$\max M = -32,64 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{200,44}{28,5} + \frac{3264}{194} = 23,86 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_m} = \frac{36}{1,1} = 32,73 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_{Rd}} = \frac{23,86}{32,73} = 0,73 < 1 \quad \rightarrow \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

$$\frac{A_{Gurt}}{A_{Steg}} = \frac{8,90}{10,7} = 0,83 > 0,6$$

Vereinfachte Berechnung zulässig.

$$\tau = \frac{V_z}{A_{Steg}} = \frac{23,60}{10,7} = 2,21 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{yd}}{\gamma_m * \sqrt{3}} = \frac{36}{1,1 * \sqrt{3}} = 18,89 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau}{\tau_{Rd}} = \frac{2,21}{18,89} = 0,12 < 1 < 0,5 \quad \rightarrow \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der Vergleichsspannungen nicht erforderlich.

Beulnachweis:

[b]

$$\text{vorh. } b/t_{\text{Steg}} = 28,4$$

$$\text{vorh. } b/t_{\text{Gurt}} = 4,14$$

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} + \frac{M}{I} * \frac{h_1}{2} = \frac{-200,44}{28,5} + \frac{-3264}{1940} * \frac{15,9}{2} = -20,41 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{A} - \frac{M}{I} * \frac{h_1}{2} = \frac{-200,44}{28,5} - \frac{-3264}{1940} * \frac{15,9}{2} = 6,35 \text{ kN/cm}^2$$

$$\psi_{\text{Steg}} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{6,35}{-20,41} = -0,31 \rightarrow \text{grenz. } b/t_{\text{Steg}} = 72,05 > \text{vorh. } b/t_{\text{Steg}} = 42,8$$

$$\psi_{\text{Gurt}} = 1 \rightarrow \text{grenz. } b/t_{\text{Gurt}} = 10,53 > \text{vorh. } b/t_{\text{Gurt}} = 4,21$$

Stabilitätsnachweis:

Auf den Nachweis des Biegedrillknickens des Riegels kann verzichtet werden, da dieser am Obergurt durch die Dachscheibe kontinuierlich gehalten wird und im Untergurt nur Zugkräfte wirken.

8.2 Nachweis der Stütze:

$$\max N = -27,62 \text{ kN}$$

$$\max V = -7,20 \text{ kN}$$

$$\max M = -32,61 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{27,62}{28,5} + \frac{3261}{194} = 17,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_m} = \frac{24}{1,1} = 21,82 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_{Rd}} = \frac{17,78}{21,82} = 0,81 < 1 > 0,5 \quad \rightarrow \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

$$\frac{A_{Gurt}}{A_{Steg}} = \frac{8,90}{10,70} = 0,83 > 0,6$$

[b]

Vereinfachte Berechnung zulässig.

$$\tau = \frac{V_z}{A_{Steg}} = \frac{7,20}{10,70} = 0,67 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{yd}}{\gamma_m * \sqrt{3}} = \frac{24}{1,1 * \sqrt{3}} = 12,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau}{\tau_{Rd}} = \frac{0,67}{12,6} = 0,05 < 1 < 0,5 \quad \rightarrow \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der Vergleichsspannungen nicht erforderlich.

Beulnachweis:

$$\text{vorh. } b/t_{Steg} = 28,4$$

$$\text{vorh. } b/t_{Gurt} = 4,14$$

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} + \frac{M}{I} * \frac{h_1}{2} = \frac{-27,62}{28,5} + \frac{-3261}{1940} * \frac{15,9}{2} = -0,97 - 13,36 = -14,33 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{A} - \frac{M}{I} * \frac{h_1}{2} = \frac{-27,62}{28,5} - \frac{-3261}{1940} * \frac{15,9}{2} = -0,97 + 13,36 = 12,39 \text{ kN/cm}^2$$

$$\psi_{Steg} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{12,39}{-14,33} = -0,86 \rightarrow \text{grenz. } b/t_{Steg} = 126 > \text{vorh. } b/t_{Steg} = 28,4$$

$$\psi_{Gurt} = 1 \rightarrow \text{grenz. } b/t_{Gurt} = 12,9 > \text{vorh. } b/t_{Gurt} = 4,14$$

Stabilitätsnachweis:

Da die Stütze durch die Wandtafeln in senkrecht zur z-Achse am Knicken und durch die kontinuierliche Verschraubung mit der Tafel am Drillen behindert wird, wird hier nur den Biegeknicknachweis senkrecht zur y-Achse geführt.

- Ermittlung des Knicklängenbeiwertes β nach Wendehorst 31. Auflage Tafel 32 Seite 677 :

[b]

$$c = \frac{I * b}{I_o * h} = \frac{1940 * 3,23}{1940 * 7,33} = 0,44 \leq 10 \leq 5; \quad m = 1; \quad n = 0$$

$$\beta_k = \sqrt{1 + 0,43n} * \sqrt{1/2 * (1 + m)} * \sqrt{1 + 0,35c + 0,017c^2}$$

$$\beta_k = 1 * \sqrt{1/2 * 2} * \sqrt{1 + 0,35 * 0,44 + 0,017 * 0,44^2} = 1,08$$

Biegeknicknachweis:

$$s_k = \beta_k * h = 1,08 * 7,33 = 7,92 \text{ m} = 792 \text{ cm}$$

$$\lambda_k = \frac{s_k}{i} = \frac{792}{8,26} = 95,88$$

$$\bar{\lambda}_k = \frac{\lambda_k}{\lambda_a} = \frac{95,88}{92,9} = 1,03; \quad Ksl a; \quad \kappa = 0,925$$

$$N_{pl,d} = 621,82 \text{ kN}$$

$$\frac{N}{\kappa * N_{pl,d}} = \frac{27,62}{0,925 * 621,82} = 0,05 < 1 > 0,1$$

$$\beta_m = 0,96 = \max \begin{cases} \beta_{m,\psi} = 0,66 + 0,44 * \psi = 0,66 + 0,44 * 0 = 0,66 \\ \beta_{m,\psi} = 1 - \frac{1}{\eta_{ki}} = 1 - \frac{1}{24,90} = 0,96 \\ 0,44 \end{cases}$$

$$\eta_{ki} = \frac{N_{ki,d}}{N} = \frac{687,82}{27,62} = 24,90$$

$$N_{ki,d} = \frac{\pi^2 * EI}{s_k^2 * \gamma_m} = \frac{\pi^2 * 21000 * 1940}{729^2 * 1,1} = 687,82 \text{ kN}$$

$$M_{pl,d} = 48,18 \text{ kNm}$$

$$\Delta n = \frac{N}{\kappa * N_{pl,d}} \left(1 - \frac{N}{\kappa * N_{pl,d}} \right) * \kappa^2 * \bar{\lambda}_k^2 = 0,05 * (1 - 0,05) * 0,925^2 * 1,03^2 = 0,043$$

$$\frac{N}{\kappa * N_{pl,d}} + \frac{\beta_m * M}{M_{pl,d}} + \Delta n = 0,11 + \frac{0,96 * 32,61}{48,18} + 0,043 = 0,80 < 1 \quad \rightarrow \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

[b]

8.3 Nachweis der biegesteifen Rahmenecke des Einhüftigen- Rahmens:

Da die beiden Profile aus verschiedenen Stahlgüten bestehen wird der Nachweis der biegesteifen Rahmenecke mit der geringeren Stahlgüte, S 235, geführt. Die Berechnung wurde mit dem Statikprogramm MB-Statik durchgeführt.

System Biegesteife Riegel-Stiel-Verbindung

Knotentyp: Eck-Rahmenknoten
 Der Riegel wird auf dem Stiel aufgelegt.
 Ausführungsform: Flansch wirkt als Zuglasche.
 Die Verbindung wird geschweißt ausgeführt.

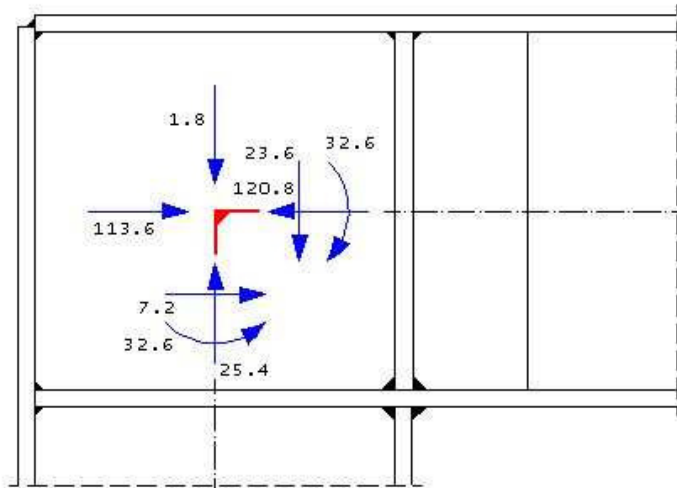
[b]

Riegel, Stiel

Profil	h [mm]	b [mm]	s [mm]	t [mm]	r [mm]
IPE 200	200	100	5.6	8.5	12.0

Belastung

Schnittgrößen gelten für den ideellen Knotenpunkt.



Bemessungswerte

Stelle	Nd [kN]	Md [kNm]	Vd [kN]
rechts	-120.8	-32.6	23.6
unten	-25.4	-32.6	-7.2

Vertikale Knotenlast $V_k = 1.8$ kN
 Horizontale Knotenlast $H_k = 113.6$ kN

Bemessung

gemäß DIN 18800, T.1, Absch. 5.2, 7.5, 8.1, 8.2, 8.4

Profilstahl S 235

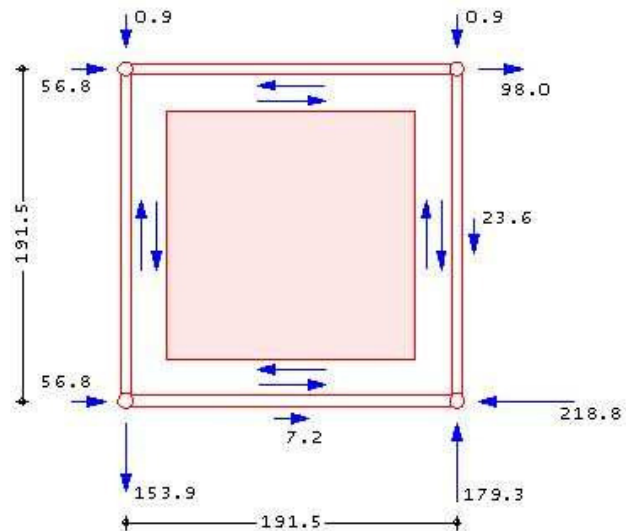
Streckgrenze $f_{y,k} = 240.0$ N/mm²
 Grenznormalspannung $\sigma_{R,d} = 218.2$ N/mm²
 Grenzs Schubspannung $\tau_{R,d} = 126.0$ N/mm²
 Grenzschiweißnahtspannung $\sigma_{w,R,d} = 207.3$ N/mm²

Eckfeld

Nachweis wird gemäß Fachwerkanalogie durchgeführt.

Berechnungsmodell

[b]



Anschnittmomente	im Riegel	$-32.6 + 23.6 \cdot 0.096 = -30.3$	kNm
	im Stiel	$-32.6 + 7.2 \cdot 0.096 = -31.9$	kNm
Schubkräfte	oben, unten	$T_o = T_u = 154.8$	kN
	links, rechts	$T_l = T_r = 154.8$	kN
Schubfluß	im Riegelsteg	$t_R = 808.5$	N/mm
Schubspannung	im Riegelsteg	$144.4 / 126.0 = 1.15 > 1$	

Stegblechverstärkung erforderlich!

Zusatzblech	Art	t [mm]	b [mm]	l [mm]	aF [mm]	aS [mm]	aI [mm]	
	einseitig	12	181	250	3	3	3	
Spannungsnachweis	Stegblech	$45.9 / 126.0 = 0.36 \leq 1$						
	Schweißnähte	$183.8 / 207.3 = 0.89 \leq 1$						
Rippenkräfte	Stab	Fo [kN]	Fu [kN]	F1 [kN]	Fr [kN]			
	Riegel	-0.9	-179.3					
Rippen des Riegels	Rippe	t [mm]	b [mm]	h [mm]	c [mm]	aFo [mm]	aFu [mm]	aS [mm]
	1	9	45	181	14	3	5	3
	2	9	35	181	9	3	5	3
Kräfte je Rippe	Rippe	F1 [kN]	F2 [kN]	F3 [kN]	e1 [mm]	e2 [mm]		
	1	57.0	9.2	0.3	29.5	181.0		
	2	47.8	5.8	0.2	22.0	181.0		

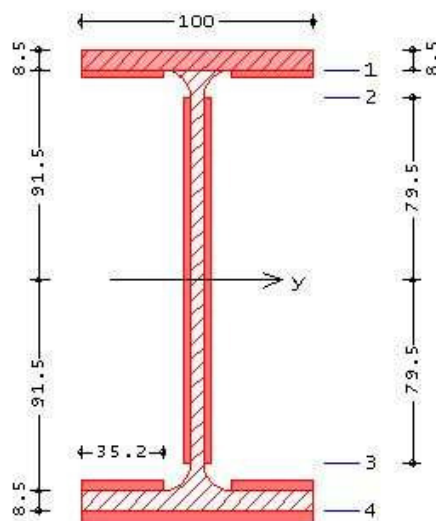
Spannungen [N/mm ²]	Rippe	Sv1	Sv2	Sv3	Swv1	Swv2	Swv3
	1	212.1	71.3	57.4	186.1	61.7	49.7
	2	208.6	56.1	42.8	185.1	48.6	37.1

Spannungsnachweis							
Rippe 1			212.1 / 218.2	=	0.97	<=	1
Flanschnähte oben			49.7 / 207.3	=	0.24	<=	1
Flanschnähte unten			186.1 / 207.3	=	0.90	<=	1
Stegnähte			61.7 / 207.3	=	0.30	<=	1
Rippe 2			208.6 / 218.2	=	0.96	<=	1
Flanschnähte oben			37.1 / 207.3	=	0.18	<=	1
Flanschnähte unten			185.1 / 207.3	=	0.89	<=	1
Stegnähte			48.6 / 207.3	=	0.23	<=	1

Anschluß des Stiels	Stelle	Nahtart	a [mm]
	Flansch links	Kehlnaht	3
	Flansch rechts	Doppelkehlnaht	5
	Steg	Doppelkehlnaht	3

[b]

Schweißnahtbild



Flächenwerte				
Fläche	A	=	28.7	cm ²
Flächenmoment 1. Grades	S _y	=	18.5	cm ³
Flächenmoment 2. Grades	I _y	=	1951.8	cm ⁴
Fläche der Stegnähte	A _s	=	9.5	cm ²

Anmerkung: Für diese Ausführungsform wird der Flanschquerschnitt bei der Berechnung von Flächenwerten berücksichtigt.

Schnittgrößen				
Abstand des Schnittes	a	=	100	mm
Normalkraft	N	=	-25.4	kN
Biegemoment	M	=	-31.9	kNm
Querkraft	V	=	-7.2	kN
Normalspannungen	sigma 1	=	131.6	N/mm ²
	sigma 2	=	111.8	N/mm ²
	sigma 3	=	-150.8	N/mm ²
	sigma 4	=	-184.7	N/mm ²
Schubspannungen	tau 2,3	=	7.5	N/mm ²

Vergleichswerte	sigmaV 1	=	131.6 N/mm ²
	sigmaV 2	=	112.1 N/mm ²
	sigmaV 3	=	151.0 N/mm ²
	sigmaV 4	=	184.7 N/mm ²

Spannungsnachweis	Flansch	145.7 / 218.2	=	0.67 <= 1
	Flanschnähte	184.7 / 207.3	=	0.89 <= 1
	Stegnähte	151.0 / 207.3	=	0.73 <= 1

Flansch als Lasche	zu übertragende Kräfte	Fu	=	153.8 kN
		Fo	=	0.9 kN

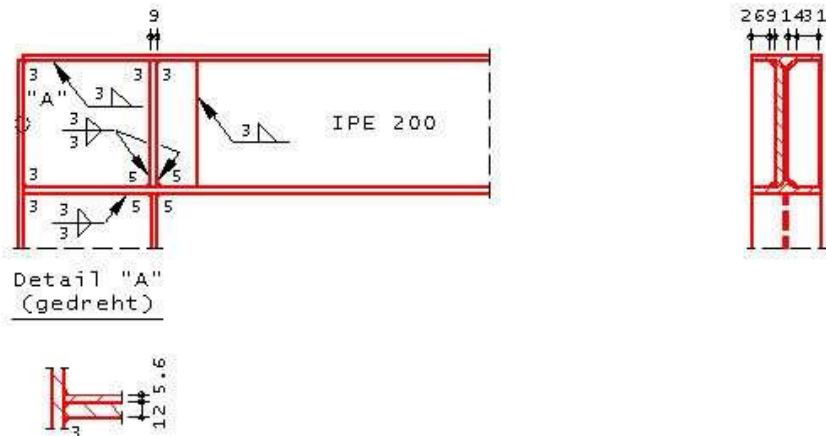
Stegnähte	Nahtart	a [mm]	l [mm]	A [cm ²]
	Doppelkehlnaht	3	159	9.5

zu übertragende Schubkraft	Ts	=	49.2 kN
----------------------------	----	---	---------

Anmerkung: Stegverstärkung wird bei der Ermittlung der Schubkraft Ts berücksichtigt.

Spannungsnachweis	Stegnähte	51.6 / 207.3	=	0.25 <= 1
-------------------	-----------	--------------	---	-----------

M 1:10



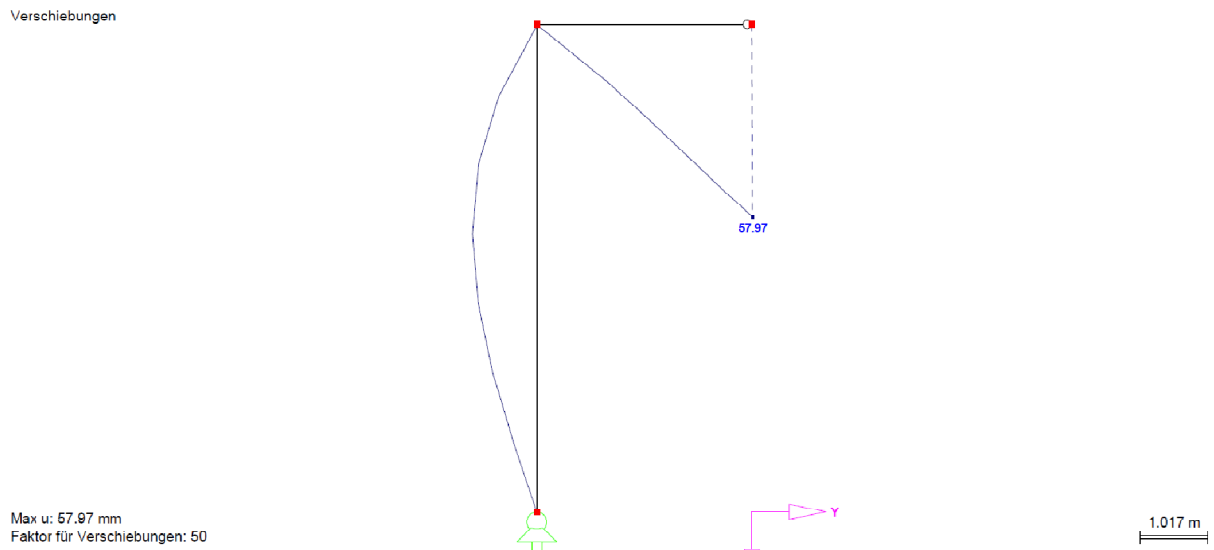
Zusatzblech: Blechstärke am Wurzepunkt beachten.

Stückliste	Riegel IPE 200 b x h	=	100 x 200 mm
	Stiel IPE 200 b x h	=	100 x 200 mm
	Zusatzblech b x l x t	=	250 x 181 x 12 mm
	Rippe Riegel b x h x t	=	45 x 181 x 9 mm, c=14 mm
			b x h x t = 35 x 181 x 9 mm, c=9 mm

8.4 Gebrauchstauglichkeitsnachweis des Einhüftigen-Rahmens:

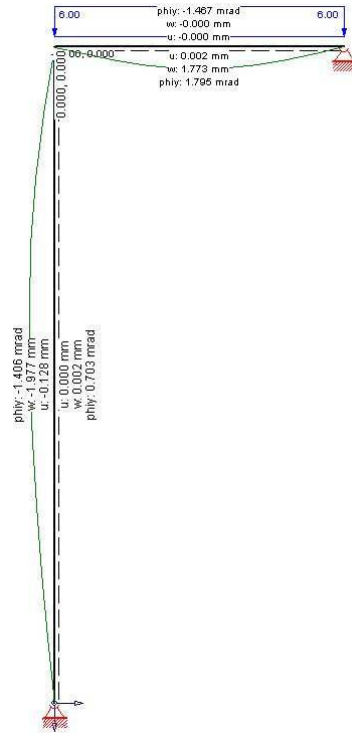
Die maximale Durchbiegung des einhüftigen Rahmens wird aus dem R-Stabmodell herausgenommen. Diese entsteht durch die Lastfälle Eigengewicht, Schnee und Mannlast.

[b]



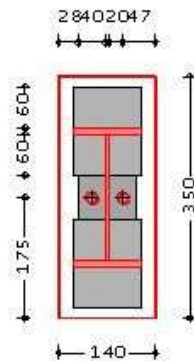
Auf der Abbildung ist eine sehr starke Verformung zu erkennen. Die Verformung beträgt ca. 5,8 cm das entspricht einer Durchbiegung von $l/56$. Diese Durchbiegung resultiert aber nicht aus der Durchbiegung des Riegels sondern aus der Zwangsverschiebung die durch die Durchbiegung des Hauptrahmens verursacht wird. Die tatsächliche Durchbiegung des Rahmenriegels beträgt aus den charakteristischen Lasten ca. 1,8 mm das entspricht einer Durchbiegung von $l/1800$ und liegt damit klar unter den geforderten $l/300$. Jedoch wurde bei der Ermittlung der Durchbiegung, der Anschluss an den Hauptträger als biegesteif angenommen.

[b]



8.5 Stützenfußanschluss des Einhäufigen-Rahmens:

System überstehende Platte unter IPE200
 M 1:10



[b]

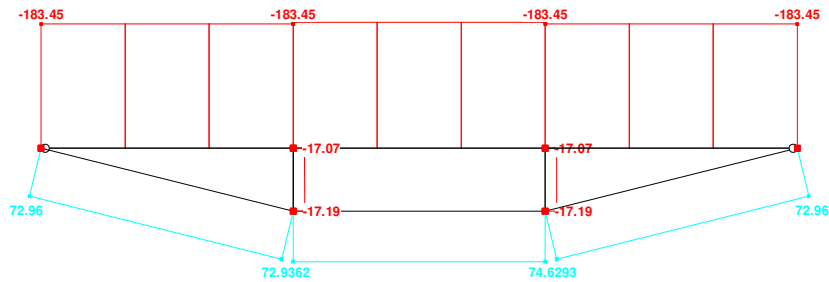
	Höhe Stütze:	$h = 200$	mm
	Breite Stütze:	$b = 100$	mm
	Dicke Steg:	$s = 5.60$	mm
	Dicke Flansch:	$t = 8.50$	mm
	Durchmesser Ankerloch:	$d_{Ak1} = 16.00$	mm
Belastung	Bemessungs-Zustandsgrößen gemäß DIN 18800 Nov.1990		
Einwirkung 1	Bemessungslasten		
	Normalkraft	$N = 215.00$	kN
	Horizontalkraft	$H_y = 38.00$	kN
Bemessung	nach DIN 18800 Teil 1 (11.1990) und DSTV / DAST Typisierte Verbindg. (01.78) Code SF E		
Material	Grenzspannung für Beton nach DIN 1045-1 (07/2001). <i>Platte S 235</i> <i>Beton C 20/25</i>		
	Mitwirkende Längen und Flächen:		
	am Flansch nach außen:	$a_{F,a} = 60$	mm
	am Flansch nach innen:	$a_{F,i} = 60$	mm
	am Steg:	$a_{F,s} = 40$	mm
	Abzug für zwei Ankerlöcher:	$d_{Fak1} = 402$	mm ²
	mitwirkende Fläche:	$F_a = 30631$	mm ²
Schweißnahtdicke	Steg Länge = 159.00 * 2	$a_S = 3.00$	mm
	Flansch außen Länge = 100.00 * 2	$a_F = 3.00$	mm
	Flansch innen Länge = 35.20 * 4	$a_F = 3.00$	mm
	$\sigma_{wv} / \sigma_{w,Rd}$ = 108.8/207.3	= 0.52	<= 1
Pressung:	$\text{vorh } \sigma / f_{cd}$ = 7.019/11.333	= 0.62	<= 1
Elastisch-Plastisch:	$\text{max } M / M_{pl}$ = 12.634/21.511	= 0.59	<= 1
	gewählte Platte: L / B / D = 350 / 140 / 20 mm		
=====			
Reibung	Reibungszahl	$\mu = 0.50$	-
	Gleitkraft	$F_{xy} = 38.00$	kN
	Grenzgleitkraft	$VR_d = 71.67$	kN
	F_{xy} / VR_d = 38.0/71.7	= 0.53	<= 1

9 Pos. 5 Berechnung des unterspannten Trägers

Obergurt und Druckpfosten: IPE 200 , Unterspannung: Rundstahl 2x 15mm

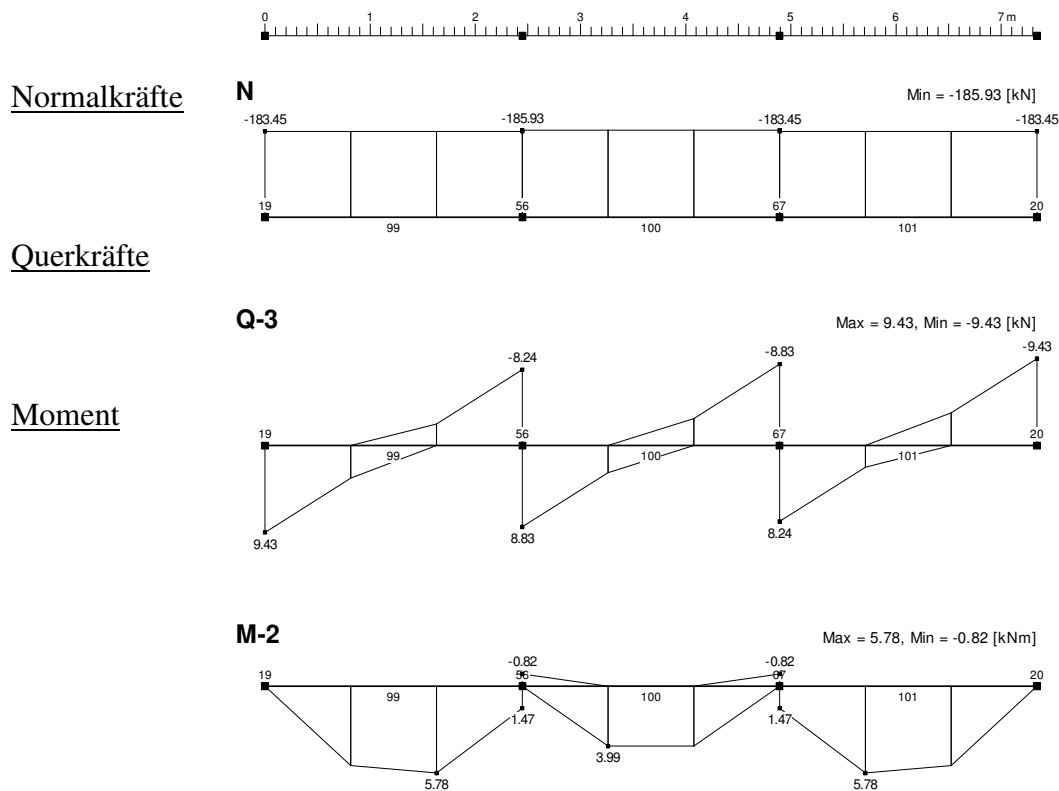
$l = 7,35 \text{ m} = 735 \text{ cm};$ *Stahlgüte S 235*

[b]



Max N: 74.62, Mn N: -185.93 kN

Schnittgrößen resultierend aus der Lastfallkombination SK3 für den Obergurt:



Spannungsnachweise mit den maximalen Schnittgrößen

$$\max N = -186 \text{ kN}$$

$$\max V = 0 \text{ kN}$$

$$\max M = 5,8 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{186}{28,5} + \frac{580}{194} = 9,51 \text{ kN/cm}^2$$

$$[\text{b}] \quad \sigma_{Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_m} = \frac{24}{1,1} = 21,82 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_{Rd}} = \frac{9,51}{21,82} = 0,44 < 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

$$\frac{A_{Gurt}}{A_{Steg}} = \frac{(28,5 - 10,7)/2}{10,7} = 0,83 > 0,6$$

Vereinfachte Berechnung zulässig.

$$\tau = \frac{V_z}{A_{Steg}} = \frac{9,5}{10,7} = 0,89 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{yd}}{\gamma_m * \sqrt{3}} = \frac{24}{1,1 * \sqrt{3}} = 12,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau}{\tau_{Rd}} = \frac{0,89}{12,6} = 0,07 < 1 < 0,5 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der Vergleichsspannungen nicht erforderlich.

Beulnachweis:

$$\text{vorh. } b/t_{Steg} = 28,4$$

$$\text{vorh. } b/t_{Gurt} = 4,14$$

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} + \frac{M}{I} * \frac{h_1}{2} = \frac{-186}{28,5} + \frac{580}{1940} * \frac{15,9}{2} = -4,15 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{A} - \frac{M}{I} * \frac{h_1}{2} = \frac{-186}{28,5} - \frac{580}{1940} * \frac{15,9}{2} = -8,90 \text{ kN/cm}^2$$

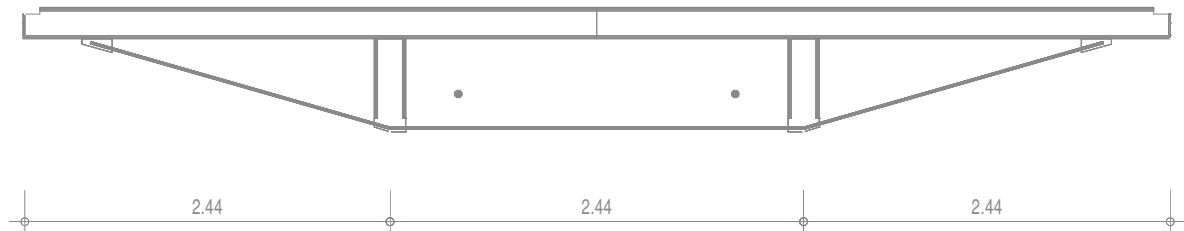
$$\psi_{Steg} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{-4,15}{-8,90} = 0,46$$

$$grenz\ b/t_{Steg} = 54,9 > vorh.\ b/t_{Steg} = 28,4$$

$$\psi_{Gurt} = 1 \rightarrow grenz.\ b/t_{Gurt} = 12,9 > vorh.\ b/t_{Gurt} = 4,14$$

Biegeknicknachweis des Untergurtes

[b] Durch die Lignotrendelemente, die als Dachscheibe wirken, ist der Obergurt kontinuierlich gehalten. Somit kann der Biegedrillknicknachweis als Biegeknicknachweis für den Untergurt geführt werden. Betrachtet wir eine Länge von $l=2,44\ m$ und einem Knicklängenbeiwert von $\beta=1$.



Querschnittswerte:

$$A = 28,5\ cm^2; \quad I_y = 1940\ cm^4; \quad W_y = 194\ cm^3$$

$$\max N = -186\ kN$$

$$\max M = -5,8\ kNm$$

Knicklängenbeiwert $\beta=1$.

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{186}{28,5} + \frac{528}{1940} = 9,25\ kN/cm^2$$

$$s_{kz} = \beta * l = 1 * 244 = 244\ cm$$

$$i_{zg} = 2,52\ cm$$

$$\lambda_{kz} = \frac{s_{kz}}{i_{zg}} = \frac{244}{2,52} = 96,82$$

$$\bar{\lambda}_{kz} = \frac{\lambda_{kz}}{\lambda_a} = \frac{96,82}{92,9} = 1,04; \quad Ksl\ c; \quad \kappa = 0,517$$

$$\frac{\sigma}{\kappa * \sigma_{Rd}} = \frac{9,25}{0,517 * 21,82} = 0,82 < 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der Druckpfosten

Spannungsnachweise mit den maximalen Schnittgrößen

$$\max N = -17,20 \text{ kN}$$

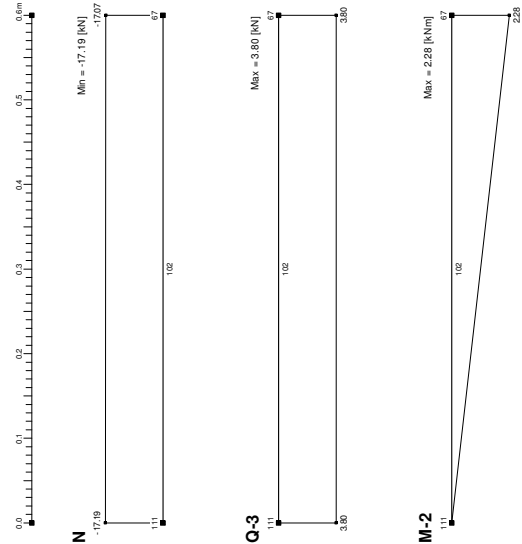
$$\max V = 3,80 \text{ kN}$$

$$\max M = 2,28 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{17,07}{28,5} + \frac{228}{194} = 1,77 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_m} = \frac{24}{1,1} = 21,82 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_{Rd}} = \frac{1,77}{21,82} = 0,08 < 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$



Schnittgrößen im Druckpfosten

$$\frac{A_{Gurt}}{A_{Steg}} = \frac{(28,5-10,7)/2}{10,7} = 0,83 > 0,6$$

Vereinfachte Berechnung zulässig.

$$\tau = \frac{V_z}{A_{Steg}} = \frac{3,8}{10,7} = 0,36 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{yd}}{\gamma_m * \sqrt{3}} = \frac{24}{1,1 * \sqrt{3}} = 12,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau}{\tau_{Rd}} = \frac{0,36}{12,6} = 0,03 < 1 < 0,5 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der Vergleichsspannungen nicht erforderlich.

Biegeknicknachweis um die Y-Achse (Einachsige Biegung mit Normalkraft)

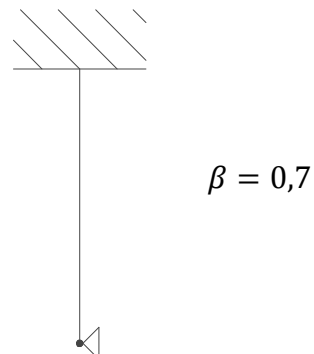
Schnittgrößen:

$$\max N = -17,20 \text{ kN}$$

$$\max M = 228 \text{ kNcm}$$

$$s_k = \beta * l = 0,7 * 0,6 = 0,42 \text{ cm}$$

$$\lambda_k = \frac{s_k}{i_y} = \frac{42}{8,26} = 5,1$$



$$\bar{\lambda}_{k,y} = \frac{\lambda_{k,y}}{\lambda_a} = \frac{5,1}{92,9} = 0,05 \text{ Ksl a}; \quad \kappa = 1$$

$$N_{ki,d} = \frac{\pi * E * I}{s_{k,y} * 1,1} = \frac{\pi^2 * 21000 * 1940}{42^2 * 1,1} = 207218,96 \text{ kN}$$

$$\eta_{ki} = \frac{N_{ki,d}}{N_d} = \frac{207218,96}{17,20} = 12047,61$$

$$\beta_{m,y} = 0,66 + 0,44 * \psi = 0,66 + 0,44 * 0 = 0,66$$

$$\text{jedoch } \beta_{m,y} \geq 1 - \frac{1}{\eta_{ki}} = 1 - \frac{1}{12047,61} = 0,99$$

[b]

$$\Delta_n = N_d / (\kappa * N_{pl,d}) * [1 - N_d / (\kappa * N_{pl,d})] * \kappa^2 * \bar{\lambda}_k^2 \leq 1$$

$$\Delta_n = \frac{17,20}{1 * 622} * \left[1 - \frac{17,20}{1 * 622}\right] * 1^2 * 0,05^2 = 0,000067 \leq 1$$

Nachweis:

$$\frac{N_d}{\kappa * N_{pl,d}} + \frac{\beta_{m,y} * M_d}{M_{pl,d}} + \Delta_n$$

$$\frac{17,20}{1 * 622} + \frac{0,99 * 228}{4030} + 0,000067 = 0,085 < 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Biegeknicke (Einachsige Biegung mit Normalkraft)

Schnittgrößen

$$\max N = -17,20 \text{ kN}$$

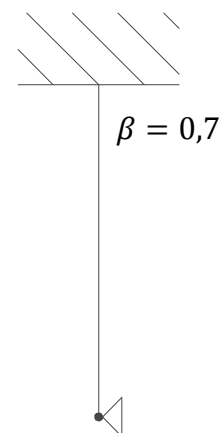
$$\max M = 228 \text{ kNcm}$$

$$s_k = \beta * l = 0,7 * 0,6 = 0,42 \text{ cm}$$

$$\lambda_k = \frac{s_k}{i_z} = \frac{42}{2,24} = 18,75$$

$$\bar{\lambda}_{k,y} = \frac{\lambda_{k,y}}{\lambda_a} = \frac{18,75}{92,9} = 0,22 \text{ Ksl b}; \quad \kappa = 0,993$$

$$N_{ki,d} = \frac{\pi * E * I}{s_{k,y} * 1,1} = \frac{\pi^2 * 21000 * 142}{42^2 * 1,1} = 15167,57 \text{ kN}$$



$$\eta_{ki} = \frac{N_{ki,d}}{N_d} = \frac{15167,57}{17,20} = 881,835$$

$$\beta_{m,y} = 0,66 + 0,44 * \psi = 0,66 + 0,44 * 0 = 0,66$$

jedoch $\beta_{m,y} \geq 1 - \frac{1}{\eta_{ki}} = 1 - \frac{1}{881,835} = 0,99$

$$\Delta_n = N_d / (\kappa * N_{pl,d}) * [1 - N_d / (\kappa * N_{pl,d})] * \kappa^2 * \bar{\lambda}_k^2 \leq 1$$

$$\Delta_n = \frac{17,20}{1 * 622} * \left[1 - \frac{17,20}{1 * 622}\right] * 1^2 * 0,05^2 = 0,000067 \leq 1$$

[b]

Nachweis:

$$\frac{N_d}{\kappa * N_{pl,d}} + \frac{\beta_{m,y} * M_d}{M_{pl,d}} + \Delta_n$$

$$\frac{17,20}{1 * 622} + \frac{0,99 * 228}{4030} + 0,000067 = 0,085 < 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Auf den Nachweis des Biegedrillknickens wird an dieser Stelle verzichtet, da der Querschnitt offensichtlich ausreichend bemessen ist. Diese Annahme beruht darauf, dass der Biegeknicknachweis nur zu 8,5% ausgelastet ist.

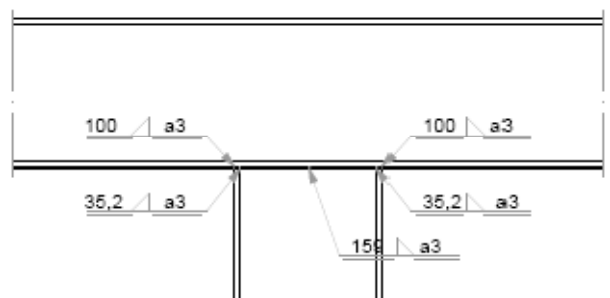
9.1 Nachweis des Anschlusses Pfosten an Obergurt IPE 200

Belastung:

$$\max N = -17,20 \text{ kN}$$

$$\max V = 3,80 \text{ kN}$$

$$\max M = 2,3 \text{ kNm}$$



Berechnung der Schweißnaht

Bauteile: S 235

IPE 200: Flansch $t = 8,5 \text{ mm}$

Steg $s = 5,6 \text{ mm}$

Nachweis der Schweißnahtdicke:

Flansch/Steg: $2 \leq a \leq 0,7 * \min t$

$$2 \leq a \leq 0,7 * 5,6 = 3,9 \text{ mm}$$

$$a \geq \sqrt{\max t} - 0,5$$

$$a \geq \sqrt{8,5} - 0,5 = 2,4 \text{ mm}$$

→ gewählte Schweißnahtdicke 3 mm

Nachweis der Schweißnaht:

$$A_{w, \text{steg}} = 15,9 * 0,3 * 2 = 9,54 \text{ cm}^2$$

$$A_w = 9,54 + 2 * 10 * 0,3 + 4 * 7,4 * 0,3 = 24,42 \text{ cm}^2$$

$$I_w = 2 * \frac{0,3 * 15,9^3}{12} + 4 * 7,95^2 * 7,4 * 0,3 + 2 * 10^2 * 10 * 0,3 = 1362,22 \text{ cm}^4$$

Spannungen am Flansch (Normalkraft + Moment)

$$\sigma_{\perp} = \sigma_{w,v} = \frac{N}{A_w} + \frac{M}{I_y} * z = \frac{17,2}{24,42} + \frac{230}{1362,22} * 10 = 2,4 \text{ kN/cm}^2$$

Am Flansch entstehen keine weiteren Spannungen.

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_w * \frac{f_{y,k}}{\gamma_m} = 0,95 * \frac{24}{1,1} = 20,72 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{w,R,d}} = \frac{2,4}{20,72} = 0,12 < 1,0 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Am Stegnahtende treten Spannungen aus der Querkraft und aus dem Moment auf

$$\tau_{\parallel} = \frac{V}{A_{w, \text{steg}}} = \frac{3,8}{9,54} = 0,40 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\perp 1} = \sigma_{w,v} = \frac{N}{A_w} + \frac{M}{I_y} * z = \frac{17,2}{24,42} + \frac{230}{1362,22} * 7,95 = 0,87 \text{ kN/cm}^2$$

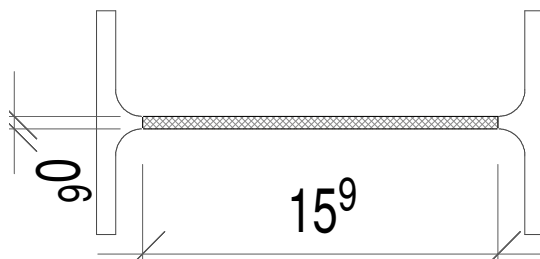
$$\sigma_{w,v} = \sqrt{0,40^2 + 0,87^2} = 0,95 \text{ cm}^2$$

[b] Nachweis:

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w;R,d}} = \frac{0,95}{20,72} = 0,05 < 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Übertragung der Normalkraft des Pfostens in den Obergurt über die Stegfläche des Pfostens

Annahme: Die Normalkraft von 17,2kN wird über die Stegfläche des Pfostens des unterspannten Trägers, über die Schweißnaht in die Stegfläche des Obergurtes geleitet.



$$A_{\text{Steg}} = 0,59 * 15,9 = 9,38 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{17,2}{9,38} = 1,84 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_m} = \frac{24}{1,1} = 21,82 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_{Rd}} = \frac{1,77}{21,82} = 0,08 < 1 \text{ Nachweis erfüllt}$$

9.2 Anschluss des Fachwerkträgers an den Hauptträger

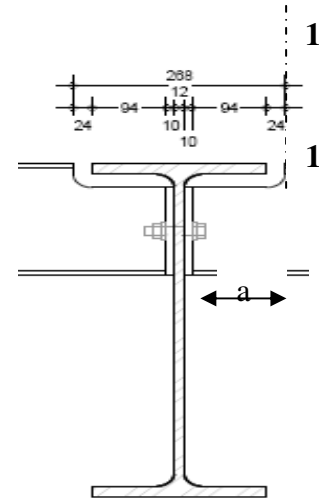
Zu übertragende Schnittgrößen:

[b]

$$\max V = 10 \text{ kN}$$

$$\max M = \max V * a = 10 * 118$$

$$\max M = 118 \text{ kNcm}$$



An Hauptträger IPE 600 wird der unterspannte Träger und der einhüftige Rahmen der Halle angeschlossen. Die maximale Querkraft resultiert aus dem Fachwerkträger und wird hier somit betrachtet.

Querschnittswerte ausgeklinkter IPE 200 aus Handrechnung (Nebenträger)

$$A_{Steg} = 0,56 * 14,15 = 7,92 \text{ cm}^2$$

$$A_{Flansch} = 0,85 * 10 = 8,50 \text{ cm}^2$$

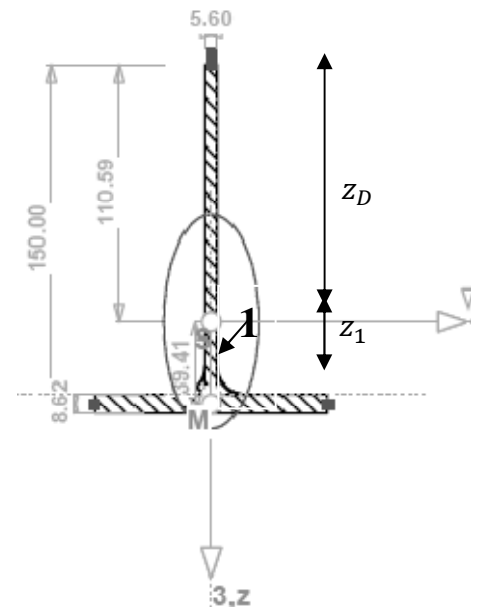
$$Z_D = \frac{(7,92 * 7,01 + 8,5 * 14,57)}{16,42} = 10,95 \text{ cm}$$

$$I_y = \frac{0,56 * 14,15^3}{12} + 7,92 * (3,875)^2 + 8,5 * (3,8)^2 = 362,52 \text{ cm}^4$$

$$S_y = 0,56 * \frac{10,95^2}{2} = 33,57 \text{ cm}^3$$

$$S_{y1} = 0,85 * 10 * \left(3,2 + \frac{0,85}{2}\right) = 30,81 \text{ cm}^3$$

$$Z_1 = 15,0 - 10,95 - 0,85 = 3,2 \text{ cm}$$



Schnitt 1-1

QUERSCHNITTSKENNWERTE

Z _{S,0}	11.07 cm
I _y	368.34 cm ⁴
I _z	71.24 cm ⁴

Kennwerte aus R-Stab

Nachweis im Schnitt 1-1:

Biegespannungen

$$\sigma_D = V * a * \frac{z_D}{I_y} \quad \sigma_D = 10 * 11,8 * \frac{10,95}{362,52} = 3,60 \text{ kN/cm}^2$$

$$36,0 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{R,d} = 218 \text{ N/mm}^2$$

[b]
$$\max \tau = \frac{V * S_y}{I_y * s} = \frac{10 * 33,57}{362,5 * 0,56} = 1,65 \text{ kN/cm}^2$$

$$16,5 \text{ N/mm}^2 \leq \tau_{R,d} = 126 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Vergleichsspannungen an der Stelle 1 (siehe Querschnitt)

$$\sigma_1 = V * a * \frac{z_1}{I_y} \quad \sigma_D = 10 * 11,8 * \frac{3,2}{362,52} = 1,04 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_1 = \frac{V * S_{y1}}{I_y * s} = \frac{10 * 30,81}{362,5 * 0,56} = 1,51 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 * \tau_{R,d}^2} = 0,95 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_v = \sqrt{1,04^2 + 3 * 1,51^2} = 2,81 \text{ kN/cm}^2$$

$$28,1 \text{ N/mm}^2 \leq 218,2 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Ermittlung der Stirnplattenhöhe zur Querkraftaufnahme im Trägersteg

$$h_p \geq \frac{V}{\tau_{R,d} * t_{Steg}} = \frac{10}{12,6 * 0,56} = 1,42 \text{ gewählt } 100 \text{ cm}$$

Gewählte Plattenmaße:

$$h_p * b_p = 100 \text{ mm} * 100 \text{ mm}$$

Nachweis des Grundmaterials im Steg

$$\tau = \frac{V}{S_t * h_p} = \frac{10}{0,56 * 10} = 1,79 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{R,d} = 12,6 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der Stirnplatte

$$A = h_p * d_p = 10 * 1 = 10 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{V}{2 * A} = \frac{10}{2 * 10} = 0,50 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_m * \sqrt{3}} = \frac{24}{1,1 * \sqrt{3}} = 12,60 \text{ kN/cm}^2$$

[b]

Schweißnahtnachweis zwischen Kopfplatte und IPE 200

Steg: $2 \leq a \leq 0,7 * \min t$

$$2 \leq a \leq 0,7 * 5,6 = 3,9 \text{ mm}$$

$$a \geq \sqrt{\max t} - 0,5$$

$$a \geq \sqrt{10} - 0,5 = 2,66 \text{ mm} \quad \underline{\text{gewählt: 3mm}}$$

Beanspruchungen:

$$V_z = 10 \text{ kN}$$

$$A_w = h_p * d_p = 2 * 10 * 0,3 = 6,0 \text{ cm}^2$$

Nachweis:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V}{A_w} = \frac{10}{6,0} = 1,66 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_{\parallel}}{\sigma_{w;R,d}} = \frac{0,95}{20,72} = 0,08 < 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der Schraubenverbindung

SL-Verbindung mit Schrauben M12 Festigkeitsklasse 4.6

-Schraubenabstände

$$e_1 = 1,2 * d_l = 1,2 * 13 = 15,6mm \quad \text{gewählt: } 25mm$$

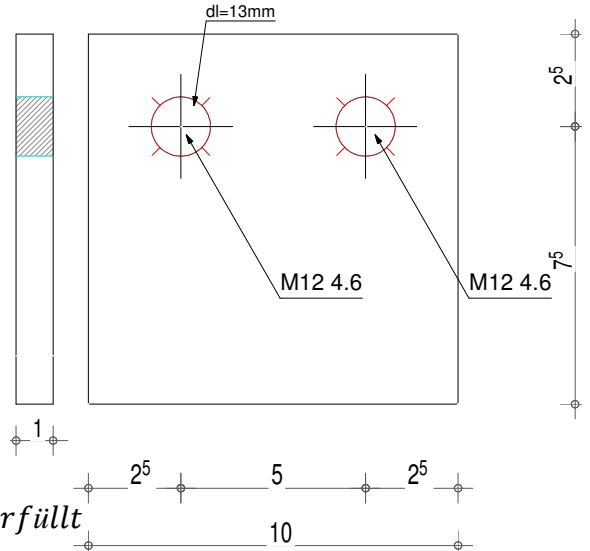
$$e_2 = 1,2 * d_l = 1,2 * 13 = 15,6mm \quad \text{gewählt: } 25mm$$

$$e_3 = 2,4 * d_l = 2,4 * 13 = 31,2mm \quad \text{gewählt: } 50mm$$

$$e_2 \geq 1,5 * d_l = 1,2 * 13 = 19,5mm$$

$$e_3 \geq 3,0 * d_l = 3,0 * 13 = 39,0mm$$

Tabellenwerte zulässig

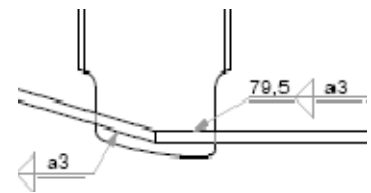


Verbindung der Anschlussfläche mit der Stirnplatte

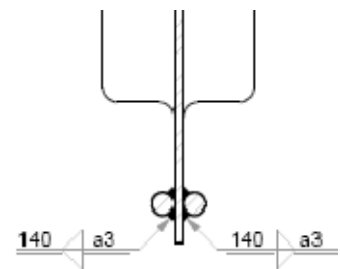
$$V_{a,max} = \frac{10}{2} = 5kN \leq V_{a,R,d} = 24,7kN \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

$$V_l = \frac{10}{2} = 5kN \leq V_{l,R,d} = 47,5kN \quad (e_1 \text{ maßgebend}) \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

9.3 Nachweis der Zugstäbe



Die Zugstäbe der unterspannungen werden an den ausgeklinkten Druckpfosten mit Kehlnähten angeschweißt. Die Zugstäbe befinden sich links und rechts vom Steg des Druckpfostens.



Beanspruchungen in den Unterspannungen:

maximale Zugkraft in in einem Rundstab=76/2=38,5 kN

Nachweis der Zugstäbe 2 * 15mm Rundstahl

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{38,5}{\pi * 0,75^2} = 21,79 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_m} = \frac{24}{1,1} = 21,82 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_{Rd}} = \frac{21,79}{21,82} = 0,99 < 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der Schweißnahtdicke:

[b]

Steg: $2 \leq a \leq 0,7 * \min t$

$$2 \leq a \leq 0,7 * 5,6 = 3,9 \text{ mm}$$

$$a \geq \sqrt{\max t} - 0,5$$

$$a \geq \sqrt{15} - 0,5 = 3,37 \text{ mm}$$

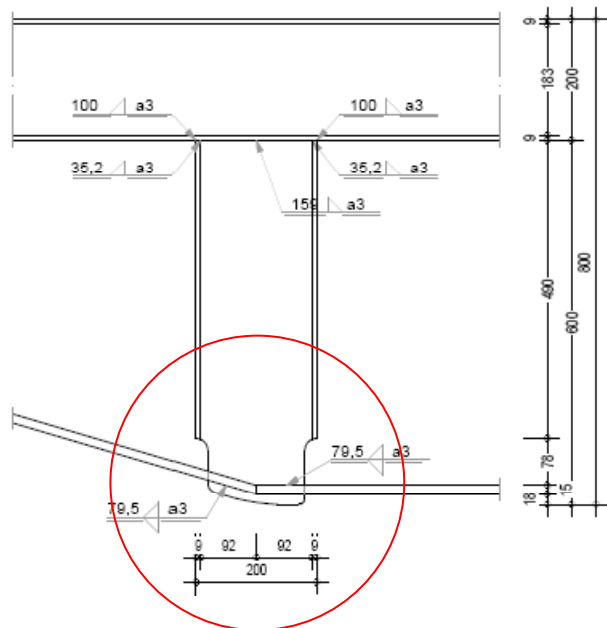
→ gewählte Schweißnahtdicke 3 mm > Stahl muss vorgewärmt werden

Nachweis der Schweißnähte:

$$A_w = 7,95 * 0,3 * 2 = 4,77 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V}{A_w} = \frac{38,5}{4,77} = 8,1 \text{ kN/cm}^2$$

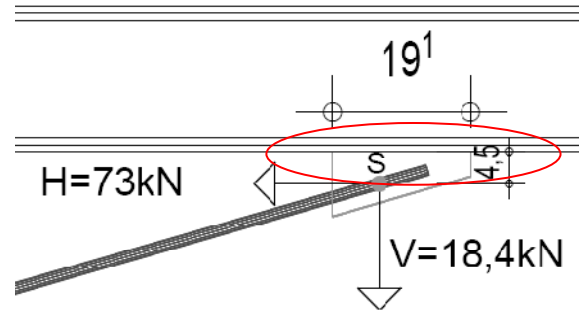
$$\frac{\tau_{\parallel}}{\sigma_{w,R,d}} = \frac{8,1}{20,72} = 0,39 < 1$$



Nachweis der Schweißnaht zwischen Obergurt und Stahlblech:

Schweißnaht:

Steg: $2 \leq a \leq 0,7 * \min t$
 $2 \leq a \leq 0,7 * 5,6 = 3,9 \text{ mm}$
 $a \geq \sqrt{\max t} - 0,5$
 $a \geq \sqrt{8,6} - 0,5 = 2,43 \text{ mm}$



gewählt: 3mm

[b]

Beanspruchungen:

$$V = 18,4 \text{ kN}$$

$$H = 73 \text{ kN}$$

$$M = 73 * 4,5 \text{ cm} = 328,5 \text{ kN}$$

Schweißnahtspannungen

$$\sigma_{\perp V} = \frac{V}{A_w} \quad \sigma_{\perp V} = \frac{18,4}{11,4} = 1,61 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\perp M} = \frac{M}{I_w} * z \quad \sigma_{\perp M} = \frac{328,5}{174,2} * 9,6 = 18,1 \text{ kN/cm}^2$$

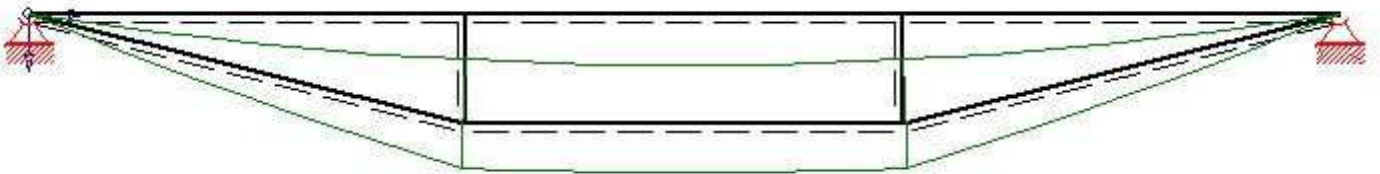
$$\tau_{\parallel H} = \frac{H}{A_w} \quad \tau_{\parallel H} = \frac{73}{11,4} = 6,40 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{((\sigma_{\perp V} + \sigma_{\perp M})^2 + \tau_{\parallel H}^2)} = \sqrt{((1,61 + 18,1)^2 + 6,4^2)} = 20,72 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_w * \frac{f_{y,k}}{\gamma_m} = 0,95 * \frac{24}{1,1} = 20,72 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,d}} = \frac{20,72}{21,72} = 1 \leq 1 \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

9.4 Gebrauchstauglichkeitsnachweis des unterspannten Trägers



Für die Ermittlung der Durchbiegung des unterspannten Trägers wurde dieser im Statik-Programm Ruck Zuck eingegeben und mit der charakteristischen Streckenlast von 5kN belastet.

Daraus ergab sich eine Durchbiegung von:

$$\max_w = 2,095 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{300} = \frac{735}{300} = 24,5 \text{ mm}$$

$$\max_w = 2,095 \text{ mm} \leq \frac{l}{300} = 24,5 \text{ mm}$$

10 Pos.6 Nachweis der Wandscheibe

$$h = 7,33 \text{ m} \quad b = 7,25/2 = 3,6 \text{ m}$$

Ständer: 8/18 cm

Beplankung: OSB 3 $t = 12 \text{ mm}$

Verbindungsmittel: Nägel 3,1 x 100 mm

[b] NKL 2 OSB $\rightarrow k_{mod} = 0,7$

$N_d = 26,5 \text{ kN}$ aus Lastkombination 8

Die Kraft wird auf zwei Wandscheiben verteilt.

Normalkraft der Randrippe

$$F_{c,d} = F_{t,d} = F_{v,d} * \frac{h}{l} = 26,5 * \frac{7,33}{3,6} = 53,95 \text{ kN}$$

Normalkraft einer Innenrippe für Berechnung der Schwellenpressung

$$F_{c,d} = 0,2 * F_{v,d} * \frac{h}{l} = 0,2 * 53,95 = 10,79 \text{ kN}$$

Schubfluss

$$s_{v,0,d} = \frac{F_{v,d}}{l} = \frac{26,5}{3,6} = 7,36 \text{ kN/m}$$

Tragfähigkeit von Holzwerkstoff-Holz-Nagelverbindungen

$$f_{h,k} = 65 * d^{-0,7} * t^{0,1} = 65 * 3,1^{-0,7} * 12^{0,1} = 37,75 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6} = 0,3 * 600 * 3,1^{2,6} = 3410,46 \text{ Nmm}$$

$$R_k = \sqrt{2 * M_{y,k} * f_{h,k} * d} = \sqrt{2 * 3410,46 * 37,75 * 3,1} = 893,43 \text{ N} \cong 0,893 \text{ kN}$$

[b]

$$R_d = \frac{R_k * k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{0,893 * 0,7}{1,1} = 0,48 \text{ kN}$$

$$a_1 = 5 * d = 5 * 3,1 = 15,5 \text{ mm}$$

$$a_{2,c} = 5 * d = 5 * 3,1 = 15,5 \text{ mm}$$

$$\text{erf } n = \frac{s_{v,0,d}}{2 * R_d} = \frac{7,36}{2 * 0,48} = 7,66 \rightarrow \text{gew. 8 Nägel}$$

$$e = 100 \text{ cm} / 8 = 12,5 \text{ cm}$$

Laut DIN 1052: 2008 – 12 Abs. 8.7.2 (7) darf der maximale Abstand der Verbindungsmittel $e = 15$ cm betragen um eine kontinuierliche Verbindung zu gewährleisten.

→ gewählt $e = 12,5$ cm

Schwellenpressung:

$$A = 20 * 8 = 160 \text{ cm}^2$$

$$A_{ef} = b * (l + 2 * 3,0) = 20 * (8,0 + 2 * 3,0) = 280 \text{ cm}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N}{A} = \frac{10,79}{280} = 0,038 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} * k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{2,5 * 0,9}{1,3} = 1,73 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \cong 17,3 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis:

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{f_{c,90,d}} = \frac{0,038}{17,3} = 0,002 < 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Anschluss der Wandscheibe an das Fundament:

[b]

Zuganker: Tri – Z 60/410

Aufnehmbare Kraft in z- und y-Richtung $F_{t,d} = 8,5 \text{ kN}$

Beanspruchung $V_d = 26,5 \text{ kN}$

max. abhebende Kraft die von den Ankern aufgenommen werden muss A_d

$$A_d = \frac{26,5}{2} * \frac{7,33}{3,6} = 27 \text{ kN}$$

$$Anker_{erf} = \frac{27}{8,5} = 3,17 \quad \rightarrow \quad 4 \text{ Anker sind an jeder Ecke der Wandscheibe anzuordnen!}$$

Verankerung im Beton:

fischer Ankerbolzen FAZ II M12

Charakteristische im gerissenen Beton: $N_{Rk,p} = 16 \text{ kN}$

Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_M = 1,5$

$$N_{Rd,p} = \frac{N_{Rk,p}}{\gamma_M} = \frac{16}{1,5} = 10,67 \text{ kN}$$

$$Anker_{erf} = \frac{27}{10,67} = 2,53$$

\rightarrow Tri. –Z Anker werden mittels FAZ II am Beton angeschlossen!

11 Pos.7 Bemessung der Einzelfundamente unter den Hauptträgern

Lasten aus dem RStab-Modell:

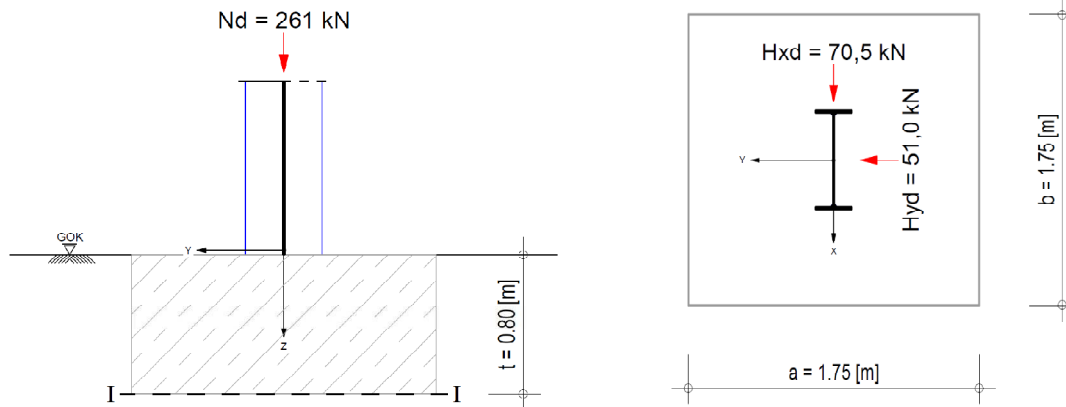
maßgebende Lastfallkombination LFK 11

$$\max N_d = 261 \text{ kN}$$

$$\max H_{xd} = 70,5 \text{ kN}$$

[b] $\max H_{yd} = 51 \text{ kN}$

gewählte Fundamentabmessungen:



Umrechnung der designten Lasten in charakteristische Lasten für die Nachweise der Fundamente:

Da die Lasten aus dem RStab-Modell aus ständigen und veränderlichen Lasten entstanden sind wird hier vereinfacht mit dem Wert 1,4 dividiert.

$$\max N_k = \frac{261}{1,4} = 186,43 \text{ kN}$$

$$\max H_{xk} = \frac{70,5}{1,4} = 50,36 \text{ kN}$$

$$\max H_{yk} = \frac{51}{1,4} = 36,43 \text{ kN}$$

Aufnehmbarer Sohldruck nach DIN 1054:2005-01 Abs. 7.7

gegeben:

Bodenart: Mitteldicht gelagerter Sandboden

Bodenkenngrößen von nichtbindigen Böden nach DIN 1055-2

Bodengruppe: SE Festigkeit: mittel Wichte (erdfeucht): $\gamma_k = 17 \text{ kN/m}^3$

Reibungswinkel: $\varphi_k = 32,5 - 37,5 (\text{°})$

Voraussetzungen für die Berechnung des aufnehmbaren Sohldruckes in einfachen Fällen:

- [b]
- Die Geländeoberfläche und die Schichtgrenzen verlaufen annähernd waagrecht;
 - der Baugrund weist bis in eine Tiefe unter der Gründungssohle, die der zweifachen Fundamentbreite entspricht, mindestens aber bis in 2,0 m Tiefe eine ausreichende Festigkeit auf;
 - das Fundament wird nicht regelmäßig oder überwiegend dynamisch beansprucht. In bindigen Schichten entsteht kein nennenswerter Porenwasserüberdruck;
 - die Neigung der resultierenden charakteristischen Beanspruchung in der Sohlfläche hält die Bedingung $\tan\delta_E = H_K / V_K \leq 0,2$ ein;

$$H_k = \sqrt{H_{xk}^2 + H_{yk}^2} = \sqrt{50,36^2 + 36,43^2} = 62,16 \text{ kN}$$

$$\tan\delta_E = \frac{62,16}{186,43} = 0,33 > 0,2$$

→ Verminderung des aufnehmbaren Sohldrucks erforderlich

e) die zulässige Lage der Sohldruckresultierenden nach 7.5.1 (3) bzw. 7.6.1 ist eingehalten.

Nachweis der Sicherheit gegen Kippen:

$$R_k = 186,43 + 1,75^2 * 0,8 * 25 = 247,68 \text{ kN}$$

$$M_{x,I-I} = 36,43 * 0,8 = 29,14 \text{ kNm}$$

$$M_{y,I-I} = 50,36 * 0,8 = 40,29 \text{ kNm}$$

$$x_e = \frac{M_{x,I-I}}{R_k} = \frac{29,14}{247,68} = 0,12 \text{ m}$$

$$y_e = \frac{M_{y,I-I}}{R_k} = \frac{40,29}{247,68} = 0,16 \text{ m}$$

$$\left(\frac{x_e}{b_x}\right)^2 + \left(\frac{y_e}{b_y}\right)^2 = \left(\frac{0,12}{1,75}\right)^2 + \left(\frac{0,16}{1,75}\right)^2 = 0,013 < \frac{1}{9} \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Ermittlung des aufnehmbaren Sohldruckes nach Tab. A 1 du Tab. A 2 DIN 1054:2005-01:

$$b'_x = b_x - 2 * x_e = 1,75 - 2 * 0,12 = 1,51 \text{ m}$$

$$b'_y = b_y - 2 * y_e = 1,75 - 2 * 0,16 = 1,43 \text{ m}$$

[b]

	σ_{zul} nach Tab. A 1	σ_{zul} nach Tab. A 2
Grundwert (interpoliert) [kN/m ²]	632	498
Verminderung infolge GW [kN/m ²]	632	498
Verminderung infolge H [kN/m ²]	$\sigma_{zul} * \left(1 - \frac{H_k}{V_k}\right)^2$ $632 * \left(1 - \frac{62,16}{186,43}\right)^2 = 280,81$	498
Erhöhung der aufnehmbaren Sohldruckes bei Rechteckfundamenten [kN/m ²]	$\frac{b_x}{b_y} = \frac{1,75}{1,75} = 1 < 2$ $\frac{b'_x}{b'_y} = \frac{1,51}{1,43} = 1,06 < 2$ $\rightarrow \sigma_{zul} = 1,2 * 280,81 = 336,97$	498

- maßgebend: $\sigma_{zul} = 336,97 \text{ kN/m}^2$

Ermittlung des vorhandenen Sohldruckes:

$$A' = b'_x * b'_y = 1,51 * 1,43 = 2,16 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{vorh} = \frac{R_k}{A'} = \frac{247,68}{2,16} = 144,67 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < \sigma_{zul} = 336,97 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der Gleitsicherheit nach DIN 1054:2005-01:

$$T_d \leq R_{t,d} + E_{p,d,res}$$

Da die Lasten aus dem RStab-Modell schon den designten Lasten entsprechen werden diese Lasten hier kombiniert und als Beanspruchung parallel zur Fundamentsohlfläche angesetzt.

$$T_d = \sqrt{H_{xd}^2 + H_{yd}^2} = \sqrt{70,5^2 + 51^2} = 87,01 \text{ kN}$$

$$R_{t,d} = \frac{R_{t,k}}{\gamma_{Gl}} = \frac{R_k * \tan \delta_{s,k}}{\gamma_{Gl}}$$

[b]

Nach DIN 1054:2005-01 Abs. 7.4.3 (3)

Sofern der Sohlreibungswinkel $\delta_{s,k}$ nicht eigens ermittelt wird, darf er bei Ortbetonfundamenten gleich dem charakteristischen Wert φ_k des Reibungswinkels angesetzt werden, jedoch $\varphi_k = 35^\circ$ nicht überschreiten. Bei vorgefertigten Fundamenten ist er auf $2/3 * \varphi_k$ abzumindern, es sei denn, die Fertigteile werden im Mörtelbett verlegt.

$$R_{t,d} = \frac{R_{t,k}}{\gamma_{Gl}} = \frac{R_k * \tan \varphi_k}{\gamma_{Gl}} = \frac{247,68 * \tan 35}{1,1} = 157,66 \text{ kN}$$

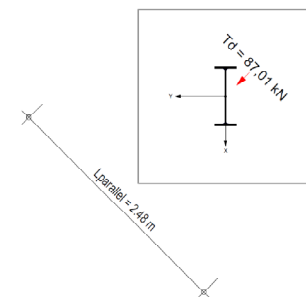
$$e_{ph} = \gamma_k * z * k_{pgh} = 17 * 0,8 * 3,32 = 45,15 \text{ kN/m}^2$$

aus Schneider Bautabellen 11.4.1

$$E_{p,k} = \frac{1}{2} * e_{ph} * 0,8 = \frac{1}{2} * 45,15 * 0,8 = 18,06 \text{ kN/m}$$

$$E_{p,d} = \frac{E_{p,k}}{\gamma_{Ep}} = \frac{18,06}{1,4} = 12,9 \text{ kN/m}$$

$$E_{p,d,res} = E_{p,d} * L_{parallel} = 12,9 * \sqrt{1,75^2 + 1,75^2} = 31,93 \text{ kN}$$

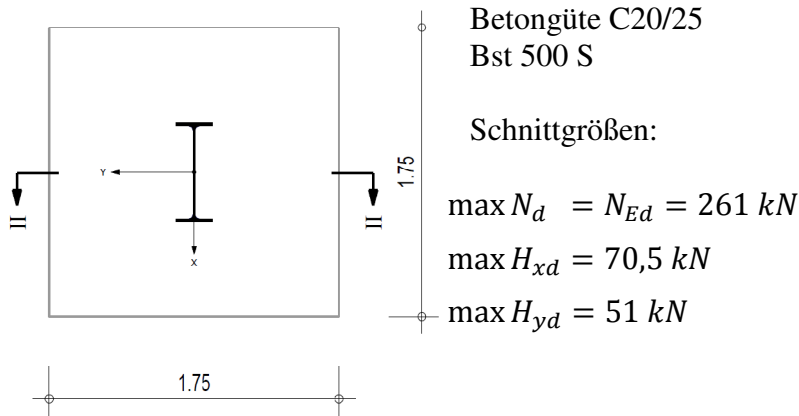


$$T_d = 87,01 \text{ kN} \leq R_{t,d} = 157,66 \text{ kN} + E_{p,d,res} = 31,93 \text{ kN} \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Ermittlung der erforderlichen Bewehrung:

Zur ermittlung der erforderlichen Bewehrung werden die Nachweise im Schnitt II-II geführt. Hier liegt das maximale Moment vor. Die Bewehrung senkrecht zum Schnitt II-II wird analog ausgeführt.

[b]



$$M_{x,I-I} = 70,5 \cdot 0,8 = 56,4 \text{ kNm}$$

$$e_x = \frac{M_{x,I-I}}{\max N_d} = \frac{56,4}{261} = 0,22 \text{ m}$$

$$M_{y,I-I} = 51 \cdot 0,8 = 40,8 \text{ kNm}$$

$$e_y = \frac{M_{y,I-I}}{\max N_d} = \frac{40,8}{261} = 0,16 \text{ m}$$

$$A' = (1,75 - 2 \cdot 0,22) \cdot (1,75 - 2 \cdot 0,16) = 1,87 \text{ m}^2$$

$$\sigma'_{gd} = \frac{N_{Ed}}{A'} = \frac{261}{1,87} = 139,33 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$M_{Edx} = 139,33 \cdot 1,75 \cdot \frac{1,75^2}{8} = 93,34 \text{ kNm}$$

Biegebemessung in x-Richtung:

$$\frac{c_y}{b_y} = \frac{0,60}{1,75} = 0,34 \approx 0,3$$

$$k_{x4} = 0,16$$

$$\Delta M_{Edx} = 0,16 * 93,34 = 14,93 \text{ kNm}$$

[b]

$$d_x = 80 - 5 - \frac{1,6}{2} = 74,2 \text{ cm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{8 * \Delta M_{Edx}}{b_y * d_x^2 * f_{cd}} = \frac{8 * 0,01493}{1,75 * 0,742^2 * 11,3} = 0,011$$

$$\omega = 0,019; \sigma_{sd} = 457 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{sx4} = \frac{\omega * b_y * d_x * f_{c,d} + N_{Ed}}{8 * \sigma_{sd}} = \frac{0,019 * 175 * 74,6 * 11,3 + 0}{8 * 457} = 7,67 \text{ cm}^2$$

gewählt: Ø16-5

$$A_{s4,vorh} = \frac{1,75}{8 * 0,05} * 2,0 = 8,75 \text{ cm}^2$$

$$A_{sx3} = \frac{k_{xi}}{k_{x4}} * A_{sx4} = \frac{0,14}{0,16} * 7,67 = 6,71 \text{ cm}^2$$

gewählt: Ø16-5

$$A_{s3,vorh} = \frac{1,75}{8 * 0,05} * 2,0 = 8,75 \text{ cm}^2$$

$$A_{sx2} = \frac{k_{xi}}{k_{x4}} * A_{sx4} = \frac{0,11}{0,16} * 7,67 = 5,27 \text{ cm}^2$$

gewählt: Ø16-7,5

$$A_{s2,vorh} = \frac{1,75}{8 * 0,075} * 2,0 = 5,83 \text{ cm}^2$$

$$A_{sx1} = \frac{k_{xi}}{k_{x4}} * A_{sx4} = \frac{0,09}{0,16} * 7,67 = 4,31 \text{ cm}^2$$

gewählt: Ø16-10

$$A_{s1,vorh} = \frac{1,75}{8 * 0,10} * 2,0 = 4,38 \text{ cm}^2$$

[b]

Querkraftbemessung:

$$a_c = 22 \text{ cm} < 120 \text{ cm} = 2 * 60 = 2 * b_c$$

$$d_m = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{74,2 + 72,6}{2} = 73,4 \text{ cm}$$

$$a_y = 0,765 \text{ m} < 1,10 \text{ m} = 1,5 * 73,4 = 1,5 * d_m$$

→ Durchstanzkegel mit 33,7°

$$u = 2\pi * (1,5 * d_m) + 4 * l_c = 2\pi * 1,1 + 4 * 0,6 = 9,31 \text{ m}$$

$$A_{crit} = A_{col} + 4 * l_c * (1,5 * d_m) + \pi * (1,5 * d_m)^2$$

$$A_{crit} = 0,6 * 0,22 + 4 * 0,6 * (1,5 * 0,734) + \pi * (1,5 * 0,734)^2 = 6,23 \text{ m}^2 > A = 3,06 \text{ m}^2$$

$$\sigma_0 = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{261}{1,75^2} = 85,22 \text{ kN/m}^2$$

$$V_{Ed} = N_{Ed} - \sigma_0 * \frac{A}{2} = 261 - 85,22 * \frac{3,06}{2} = 130,61 \text{ kN}$$

$\beta = 1,4$ für Randstützen

$$v_{Ed} = \frac{\beta * V_{Ed}}{u} = \frac{1,4 * 130,61}{9,31} = 19,64 \text{ kN/m}$$

$$\rho_{lx} = \frac{a_s}{d} = \frac{2,0}{0,15 * 74,1} * 10^{-2} = 0,00179$$

$$\rho_{ly} = \frac{a_s}{d} = \frac{2,0}{0,15 * 72,5} * 10^{-2} = 0,00184$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} * \rho_{ly}} = \sqrt{0,00179 * 0,00184} = 0,00181 < \begin{cases} 0,04 * \frac{20}{1,5 * 435} \\ 0,02 \end{cases}$$

$$\kappa = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_m}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{734}} = 1,52 < 2,0$$

[b] $V_{Rd,ct} = 0,14\eta_1 * \kappa(100\rho_l * f_{ck})^{\frac{1}{3}} * d_m = 0,14 * 1,59 * (100 * 0,00181 * 20)^{\frac{1}{3}} * 0,734$

$$V_{Rd,ct} = 0,251 \text{ MN/m} = 251 \text{ kN/m}$$

$$v_{Ed} = 19,64 \text{ kN/m} < 251 \text{ kN/m} = V_{Rd,ct} \rightarrow \text{Nachweis erfüllt}$$

Keine Durchstanzbewehrung erforderlich.

11.7 Ermittlung der Setzungen:

Fundamentabmessungen	$a/b/t = 1,75/1,75/0,80 \text{ m}$
Tiefe der Bodenschicht (mitteldicht gelagerter Sandboden)	$z = 10 \text{ m}$
Steifemodul	$E_s = 80 \text{ MN/m}^2$
Wichte	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$
Einwirkende Kraft und deren Ausmittigkeiten	$N_k = 186,43 \text{ kN}$
	$e_x = 0,12 \text{ m}$
	$e_y = 0,16 \text{ m}$

$$\sigma_0 = \frac{N_k}{a * b} = \frac{186,43}{1,75^2} = 60,88 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_a = \gamma * t = 17 * 0,80 = 13,60 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_1 = \sigma_0 - \sigma_a = 60,88 - 13,60 = 47,28 \text{ kN/m}^2$$

$$E_m = \frac{E_s}{\kappa} = \frac{80}{0,67} = 119,40 \text{ MN/m}^2 = 119400 \text{ kN/m}^2$$

Grenztiefe

$$\frac{a}{b} = 1,0$$

$$z_r = z - t = 10 - 0,8 = 9,2 \text{ m}$$

$$\frac{z}{b} = \frac{9,2}{1,75} = 5,26$$

Setzungsbeiwert f nach 3.28 Grundbau in Beispielen Aufl.3

$$f = 0,767$$

[b]

$$s_m = \sigma_1 * b * \frac{f}{E_m} = 47,28 * 1,75 * \frac{0,767}{119400} = 0,00053 \text{ m} = 0,53 \text{ mm}$$

Einflusswert f_x und f_y für die Schiefstellung eines starren Rechteckfundamentes nach 3.41 Grundbau in Beispielen Aufl.3

$$f_x = f_y = 4,75$$

$$s_x = \frac{a}{2} * \frac{N * e_x}{b^2 * E_m} * f_x = \frac{1,75}{2} * \frac{186,43 * 0,12}{1,75^2 * 119400} * 4,75 = 0,000025 \text{ m} = 0,025 \text{ mm}$$

$$s_y = \frac{b}{2} * \frac{N * e_y}{a^2 * E_m} * f_x = \frac{1,75}{2} * \frac{186,43 * 0,16}{1,75^2 * 119400} * 4,75 = 0,000034 \text{ m} = 0,034 \text{ mm}$$

Gesamtsetzung

$$s = s_m + s_x + s_y = 0,53 + 0,025 + 0,034 = 0,589 \text{ mm}$$

12 Pos.8 Bemessung des Streifenfundamentes unter den Einhüftigen-Rahmen.

Die Bemessung der Streifenfundamente wurden diese als elastisch gebetteten Balken gerechnet. Für die Berechnung wurde das Programm MB-Statik zur Hilfe gezogen. Die Lasten aus den Stielen der einhüftigen Rahmen wurden aus dem RStab-Modell entnommen. Die maßgebende Lastfallkombination war die LFK 11. Die zusätzlichen ständigen Lasten aus den Holztafelwänden wurden händisch ermittelt.

[b] Ermittlung der Last aus Holztafelwänden:

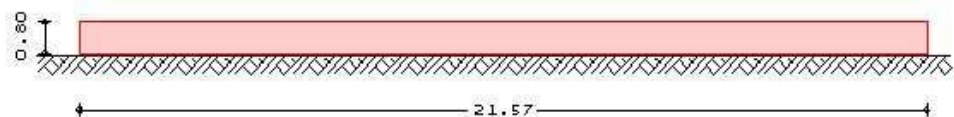
Material	Wichte [kN/m ³]	Dicke / Anzahl [cm / Stück]	Höhe [m]	Last [kN/m]
OSB-Platte	6	1,2	8	0,58
Holzstiele	5	8x20 / 2	8	1,28
HWL-Platte	0,04 pro cm	8	8	2,56
Dämmung	0,01	20	8	1,60
			Σ	6,02

$$\rightarrow q_{d,wand} = 1,35 * 6,02 = 8,13 \text{ kN/m}$$

Das Steifemodul des Bodens wurde mit $E_s=80,00 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ angenommen. Dieser Wert wurde nach einer Besprechung mit Prof. Dr. J. Vogel für diesen Baugrund, mitteldicht gelagerter Sandboden, gewählt.

Ergebnisse der Berechnung:

System
M 1:175



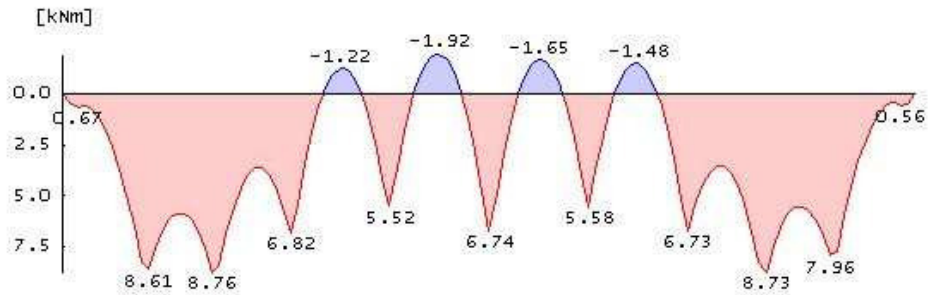
Balken	Länge	$l = 21,57$	m
	Höhe	$h = 0,80$	m
	Breite	$b = 0,50$	m
	Elastizitätsmodul Beton	$E_{cm} = 24900$	N/mm ²
Bodenschichten	Nr. Bezeichnung	h [m]	$E_s \text{ [N/mm}^2\text{]}$
	I Sand	10,00	80,00

Schnittgrößen
EW Last

x [m]	Mk [kNm]	Vk [kN]	σ_k [kN/m ²]	sk [cm]
0.00	0.00	0.00	94.13	0.06
0.90	1.18	2.86	49.65	0.07
3.77	8.76	7.29	55.25	0.08
9.53	-1.92	0.53	57.19	0.09
10.61	4.77	11.93	57.72	0.09
10.96	4.93	-11.83	57.72	0.09
21.57	-0.00	0.00	95.55	0.06

EW Last
M 1:175

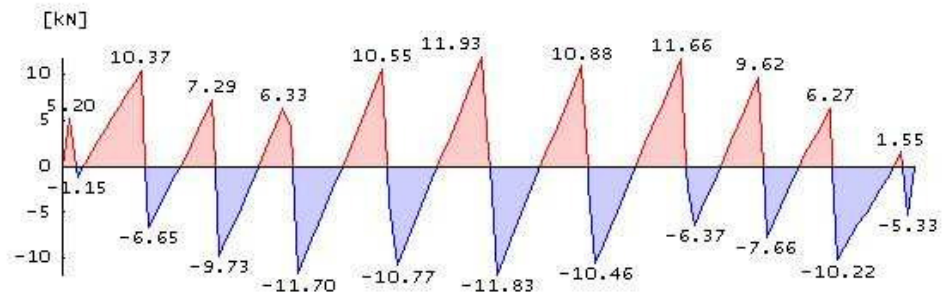
charakteristisches Moment Mk



[b]

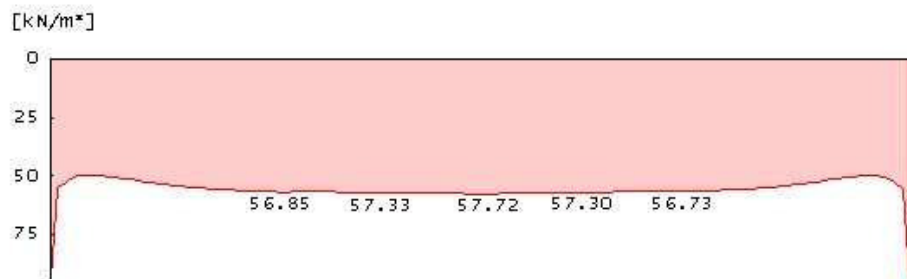
EW Last
M 1:175

charakteristische Querkraft Vk



EW Last
M 1:175

charakteristische Pressung σ_k

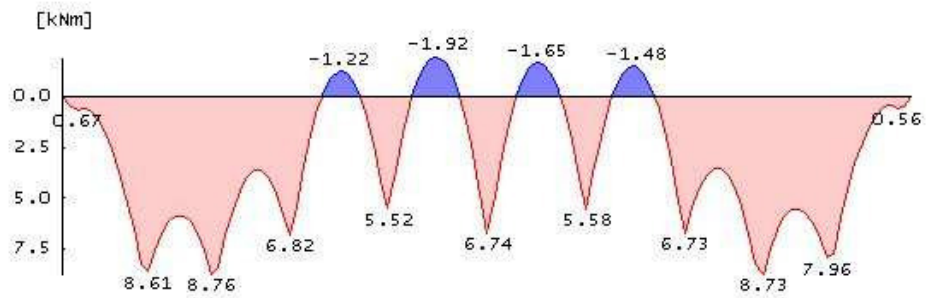


EW Last
M 1:175

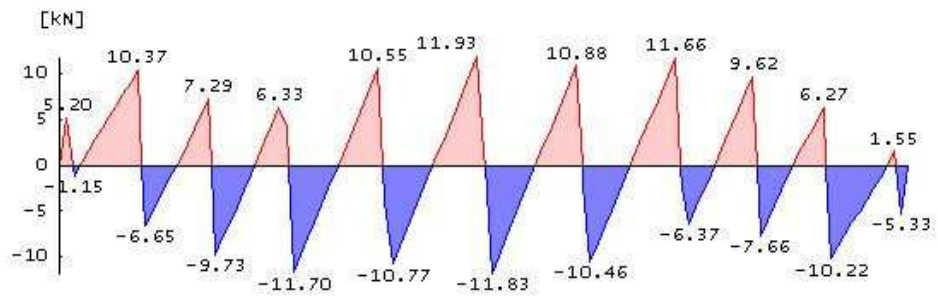
charakteristische Setzung sk



außerg. Kombination Moment MED
M 1:175



außerg. Kombination Querkraft VED
M 1:175



Bemessung

nach DIN 1045-1 (07.01)

Beton C 20/25

Wichte des Stahlbetons

Balken

Achsabst. d. Bewehrung

Betonstahl Bst 500SA

$\gamma = 25.00 \text{ kN/m}^3$

$b / h = 50 / 80 \text{ cm}$

$d'u / d'o = 5.0 / 5.0 \text{ cm}$

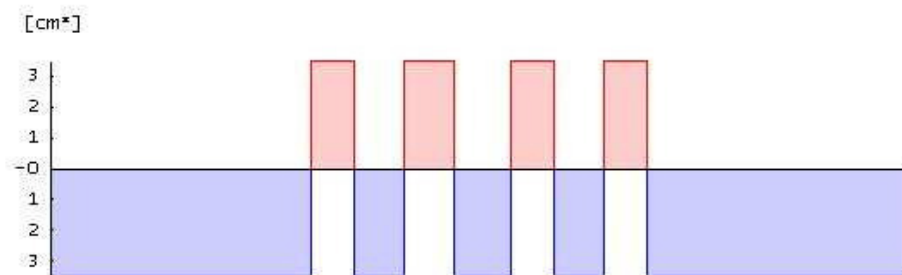
Biegebewehrung/
Querkraftbewehrung

x [m]	erf Asu [cm ²]	erf Aso [cm ²]	VRd,ct [kN]	VRd,max [kN]	erf asw [cm ² /m]
0.00	-	-	258.06	993.03	3.50 _M
0.18	3.48 _M	-	69.86	993.03	3.50 _M

x [m]	erf Asu [cm ²]	erf Aso [cm ²]	VRd,ct [kN]	VRd,max [kN]	erf asw [cm ² /m]
3.77	3.48 _M	-	69.86	993.03	3.50 _M
6.65	-	3.48 _M	69.86	993.03	3.50 _M
7.73	3.48 _M	-	69.86	993.03	3.50 _M
8.99	-	3.48 _M	69.86	993.03	3.50 _M
9.53	-	3.48 _M	69.86	993.03	3.50 _M
10.25	3.48 _M	-	69.86	993.03	3.50 _M
10.61	3.48 _M	-	69.86	993.03	3.50 _M
11.68	-	3.48 _M	69.86	993.03	3.50 _M
12.76	3.48 _M	-	69.86	993.03	3.50 _M
14.02	-	3.48 _M	69.86	993.03	3.50 _M
15.10	3.48 _M	-	69.86	993.03	3.50 _M

M - Mindestbewehrung nach 13.1.1(1) bzw. 13.2.3(5)

[b] erf. Biegebewehrung
M 1:175



erf. Querkraftbew.
M 1:175



13 Quellenverzeichnis

Verwendete Literatur:

- Avak; 3. Auflage 2005; Stahlbetonbau in Beispielen Teil 2; Werner Verlag
- Dörken und Dehne; 3. Auflage 2004; Grundbau in Beispielen; Werner Verlag
- Holschemacher, Peters, Schneider und Steck; 2. Auflage 2009; Konstruktiver Ingenieurbau Teubner/Beuth
- Hünensen und Fritzsche; 6. Auflage 2006; Stahlbau in Beispielen Berechnungspraxis nach DIN 18800-1 bis -3; Werner Verlag
- Kahlmeier, Hebestreit und Vogt; 5. Auflage 2008; Stahlbau nach DIN 18800; Werner Verlag
- Otto W. Wetzell (Hrsg); 31. Auflage 2004; Wendehorst Bautechnische Zahlentafeln; kompakt; Bauwerk
- Prof. Dr.-Ing. H.J. Hülsmann; Skript Stahlbau II WS 09/10
- Schneider; 17. Auflage 2006; Bautabellen für Ingenieure; Werner Verlag

Verwendete Normen:

- DIN 1052:2008-12; Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken
- DIN 1055-100:2001-03; Einwirkungen auf Tragwerke; Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln
- DIN 1055-1:2002-06; Einwirkungen auf Tragwerke; Wichten und Flächenlasten von Baustoffen, Wichten und Flächenlasten von Baustoffen
- DIN 1055-4:2005-04; Einwirkungen auf Tragwerke; Windlasten
- DIN 1055-5:2007-07; Einwirkungen auf Tragwerke; Schnee- und Eislasten
- DIN 1055-7:2002-11; Einwirkungen auf Tragwerke; Temperatureinwirkungen
- DIN 18800-1:2008-11; Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion
- DIN 18800-2:2008-11; Stahlbauten; Stabilitätsfälle – Knicken von Stäben und Stabwerken

Verwendete Software:

- Cadwork 3D-CAD/CAM; cadwork informatik Software GmbH; Version 16
- RStab Stabwerksprogramm; Ingenieur-Software Dlubal GmbH; Version 5.12
- Ing⁺; mb AEC Software GmbH; Version 2008
- RuckZuck; Mursoft; Version 5.0