

Linie:

SBB 720

Bezeichnung:

Zürich - Ziegelbrücke

km:

22.2 - 25.9

Kantone:

Zürich, Schwyz

Gemeinden:

Wädenswil, Richterswil, Freienbach

Projekt:

AS35; Wädenswil

Publikumsanlage

SOB 670

Wädenswil - Einsiedeln

0.0 – 1-1

12.601.06-01

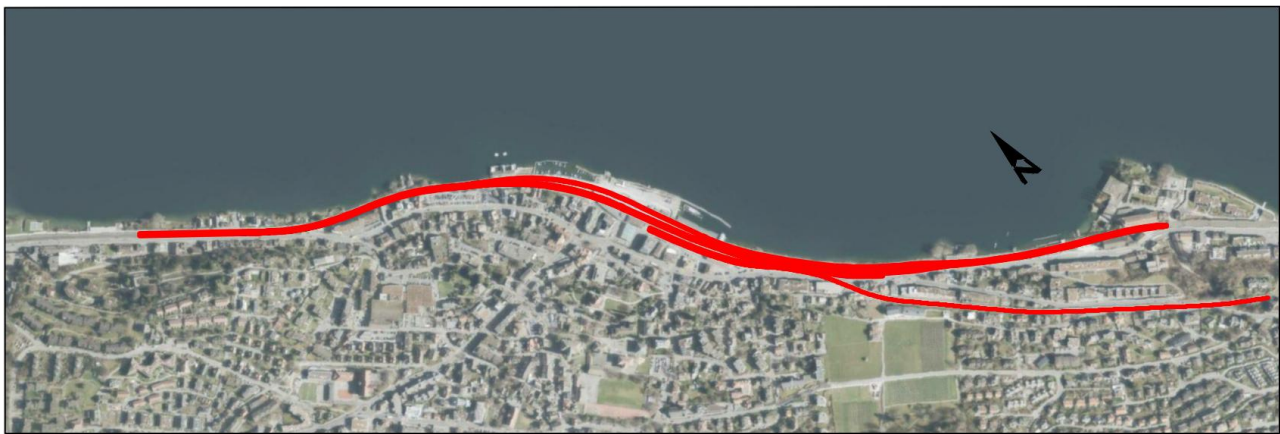
ISP-Nr.

1161158

Phase:

Auflageprojekt

Übersichtsplan:



Autoren:

Bauherrenvertretung SBB

Abteilung/OE: I-AEP-PJM-ROT-T4

Name: René Batschelet

Datum: 08.06.2026

Projektverfasser

Firma: PGBW

Name: Pascal Guignard

Datum: 08.06.2026

Statischer Bericht

Perrondächer - Holzbau

Linie: 720

km: 23.806 – km: 24.178

SBB, Infrastruktur

Vulkanplatz 11, 8048 Zürich



Dok. Nr.		WAE_BP_12.601.06-01_IB_STB-Holz-Perrondach_GRU_C00					
Index	Erstellt	Vis.	Geprüft	Vis.	Freigab	Vis.	
C00	02.05.25	MAMU	02.05.25	MAMU	02.05.25	TG	

Filename: WAE_BP_12.601.06-01_IB_STB-Holz-Perrondach_GRU_C00.docx

Format: A4

Erstellt auf Basisdaten der amtlichen Vermessung und der SBB-Geodaten © swisstopo® Alle Recht an diesem Dokument stehen der SBB zu.Für die genaue Lage und die Vollständigkeit der unterirdischen Anlagen besteht keine Gewähr.

**Vorwort:**

Das Dokument ist in der jeweiligen Projektphase zu überprüfen bzw. zu ergänzen. Die Änderungen haben direkt im Originaldokument nach folgendem Farbschema zu erfolgen:

Vorprojekt: Schwarz

Bau-/ Auflageprojekt: grün

Ausführungsprojekt: pink

Um die Änderungen auf einen Blick nachzuvollziehen, ist zusätzlich die Revisionsliste auszufüllen.

Revisionsliste der projektspezifischen Änderungen

Kapitel	Änderungen
2.2	Anpassung Geometrie (Querprofile)
3.4	Lasten Fahrleitungsmasten reduziert
3.6	Aussergewöhnlicher Lastfall Wasserstau aufgenommen

Änderungsverzeichnis der Dokumentenvorlage

Version	4.1
Letzte Änderung	03.01.2022
Letzte Änderung durch	Alain Liechti (I-NAT-KBN-IB)
Ablage	DE – 20220103_Vorlage_Nutzungsvereinbarung

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines.....	5
1.1	Einleitung	5
1.2	Grundlagen	5
2	Geometrie, System	6
2.1	Grundrisse	6
2.2	Querschnitte	6
2.2.1	Einzelstützte Regelquerschnitt (max. Kragarm)	6
2.2.2	Doppelstütze symmetrisch.....	7
2.2.3	Doppelstütze asymmetrisch.....	7
3	Einwirkungen	8
3.1	Eigenlasten, Auflasten	8
3.2	Schnee.....	8
3.3	Wind.....	9
3.4	Fahrleitungsmasten	10
3.5	Temperatur	10
3.6	Wasser.....	11
3.7	Anprall Perronfahrzeug.....	12
3.8	Erdbeben	12
3.9	Lastkombinationen GZT 2	13
3.10	Lastkombinationen GZG.....	14
4	Modellbildung	16
4.1	Lasten	17
4.2	Modellierung	19
5	Übersicht Bauteile und Details.....	22
6	Schnittkräfte.....	23
6.1	Erdbeben	23
6.1.1	Quer	23
6.1.2	Längs	23
6.2	GZT.....	24
7	Bemessung GZT Bauteile	25
7.1	Materialien	25
7.2	Stützen in Querrichtung.....	26
7.2.1	Einzelstütze.....	26

7.2.2	Doppelstütze	27
7.3	Stützen in Längsrichtung	27
7.4	Dach	28
7.5	Querträger Einzelstütze/Feld	29
7.6	Querträger Doppelstütze symmetrisch	30
7.7	Querträger Doppelstütze asymmetrisch	34
7.8	Längsträger	38
7.8.1	Zweifeldträger	38
7.8.2	Längsträger Einfeldträger	42
8	Bemessung GZT Details	43
8.1	Einspannung Stützenfuss	43
8.1.1	Quer zum Gleis	43
8.1.2	Parallel zum Gleis	46
8.2	Situation Einzelstütze	47
8.2.1	Aufnahme Moment mit RND und SSGW	47
8.2.2	Verbindung Aufdopplung – Querträger	48
8.2.3	Auflager Querträger	48
8.3	Längsträger	50
8.3.1	Anschluss Längsträger – Einzelstütze	50
8.3.2	Anschluss Längsträger – Doppelstütze	54
9	Bemessung GZG	55
9.1	Überhöhung	56
9.2	Längsträger mit Einzelstützen	57
9.3	Längsträger Einfeldträger auf Doppelstützen	61
9.4	Dehnungsfugen	62
	Anhang: Plausibilisierung Schnittkräfte	64

1 Allgemeines

1.1 Einleitung

Beim Bahnhof in Wädenswil wird zukünftig eine massiv höhere Nutzung prognostiziert. Die Doppelspur ist bereits heute stark ausgelastet und bildet einen wichtigen Umsteigeknoten. Im Rahmen des Ausbaus bis 2035 werden die Gleisanlagen von km 23.621 bis 24.892 sowie die Publikumsanlagen angepasst mit dem Ziel, die Kapazität für den Personen- und Güterverkehr sowie die Kapazität der Publikumsanlagen zu erhöhen und die nicht BehiG-konformen Bahnzugangsanlagen zur Erfüllung der Barrierefreiheit anzupassen.

Der vorliegende Bericht handelt die statische Berechnung des Perrondaches in Holzbauweise ab. Die Schnittstelle zum Perron ist bei der Unterkante der Stütze.

1.2 Grundlagen

Nutzungsvereinbarung: WAE_AP_12.601.04_IB_NV-Perron-Perrondach_GRU_A03

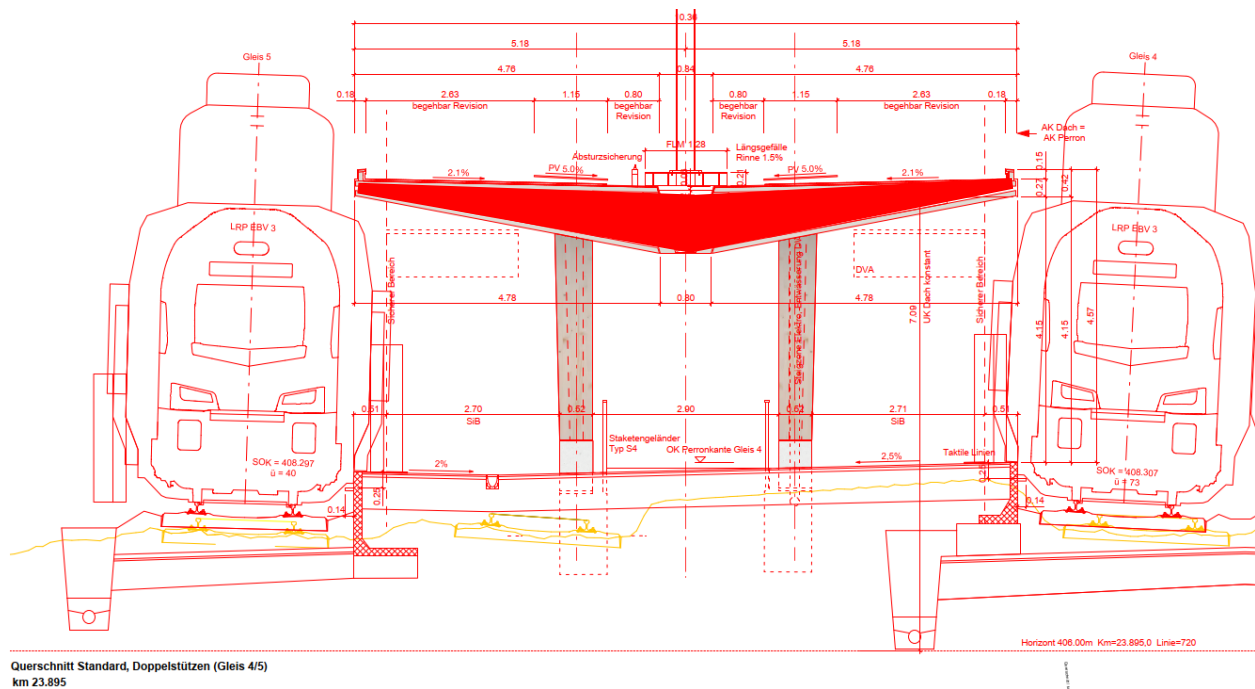
Projektbasis: WAE_AP_12.601.05_IB_PB-Perron-Perrondach_GRU_A03

Architekturpläne - Perrondächer, Grundriss, Schnitte und Details

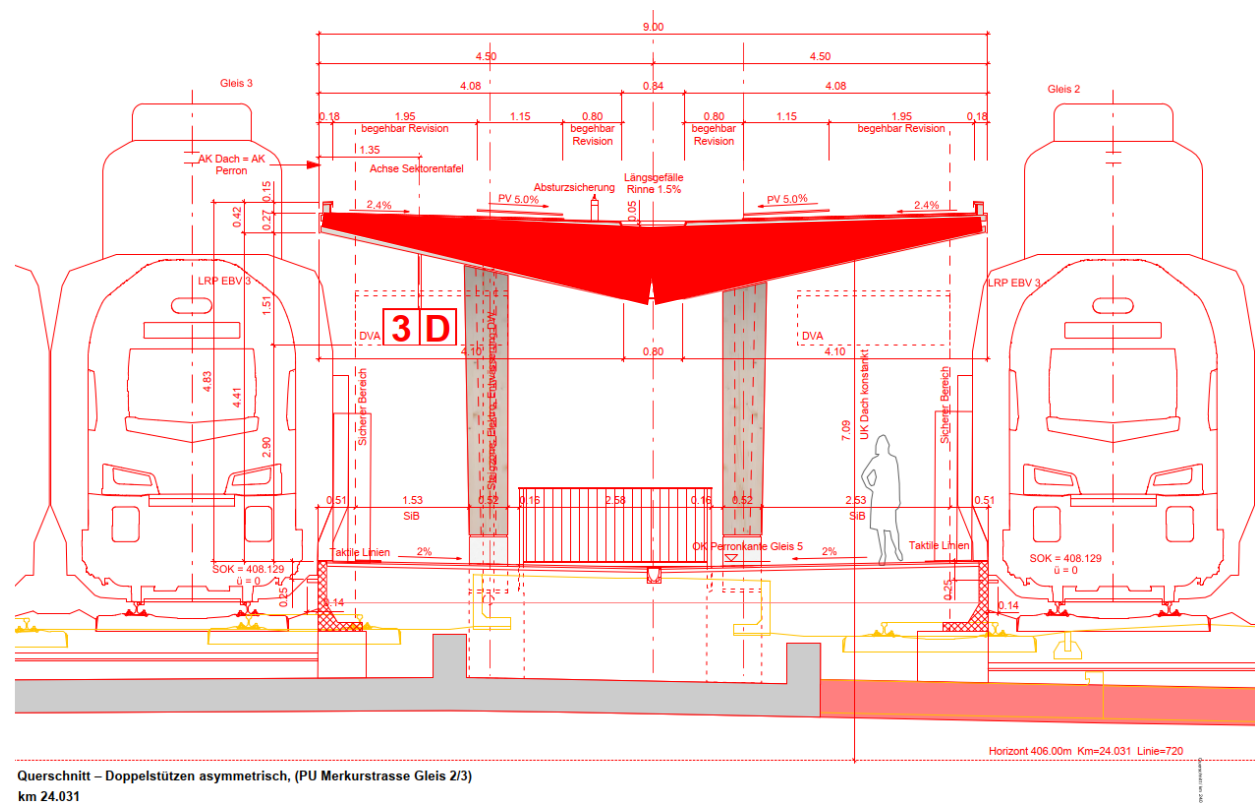
Bauwerksplan Perrons und Perrondächer, Grundriss

Bauwerksplan Perrons und Perrondächer, Schnitte und Details

2.2.2 Doppelstütze symmetrisch



2.2.3 Doppelstütze asymmetrisch



3 Einwirkungen

3.1 Eigenlasten, Auflasten

Eigengewicht

Holz (Stützen, Längs- und Querträger, Randträger)

$$\gamma_H = 5.0 \frac{kN}{m^3} \rightarrow \text{im Modell enthalten.}$$

Als Linienlast auf Querträger:

Oberer 3-Schichtplatte: $0.08 \text{ m} \cdot \gamma_H = 0.4 \text{ kN/m}^2$

Untere 3-Schichtplatte: $0.08 \text{ m} \cdot \gamma_H = 0.4 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{verschmiert von } 0.8 \text{ m auf } 3.2 \text{ m} \rightarrow 0.1 \text{ kN/m}^2$

Seitliche Klappen: $0.06 \text{ m} \cdot \gamma_H = 0.3 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{verschmiert von } 2.4 \text{ auf } 3.2 \text{ m} \rightarrow 0.23 \text{ kN/m}^2$

Summe dieser Lasten $g_k = 0.73 \text{ kN/m}^2$

Zusätzlich kommen noch die Knaggen und die seitlichen Aufdopplungen der Querträger dazu.

Einfachheitshalber wurde die Last von 0.73 auf 1.0 aufgerundet.

Linienlast Total: $g_k = 1.0 \text{ kN/m}^2 \cdot 3.2 \text{ m} = 3.2 \text{ kN/m}$

Auflasten

Für Installationen (Anzeigetafeln/Uhren etc.) wird an den Pfetten und an den Querrahmen eine Zusatzlast von $q_{Aufh} = 0.5 \text{ kN/m}$ berücksichtigt.

PV inkl. Unterkonstruktion (EL, Abdichtung, Beleuchtung): $q_{PV} = 0.3 \frac{kN}{m^2} + 0.2 \frac{kN}{m^2} + 0.1 \frac{kN}{m^2} = 0.6 \frac{kN}{m^2}$

Auflast auf Querträger Total: $q_{A,k} = 3.2 \text{ m} \cdot 0.6 \text{ kN/m}^2 + 0.5 \text{ kN/m}^2 = 2.4 \text{ kN/m}$

3.2 Schnee

Wädenswil: 410 m.ü.M und Schneezone $\pm 0\text{m}$:

$$s_k = \left(1 + \left(\frac{410}{350}\right)^2\right) \cdot 0.4 \text{ kN/m}^2 = 0.95 \text{ kN/m}^2$$

Die Abmessungen des Daches erlauben eine Abminderung mit dem Beiwert μ_1 (vgl. SIA 261 Ziffer 5.3.5).

Schneelast: $q_{S,k} = \mu_1 \cdot s_k = 0.76 \text{ kN/m}^2$

Für die Windangriffsfläche muss mit liegendem Schnee auf dem Dach gerechnet werden.

Raumgewicht Schnee gemäss SIA 261 Ziffer 5.4.1: $\gamma_S = 3 \text{ kN/m}^3$.

$$\text{Schneehöhe: } h_s = \frac{q_{S,k}}{\gamma_S} = 0.25 \text{ m}$$

Schnee als Begleiteinwirkung wird mit dem Beiwert $\psi_0 = \left(1 - \frac{60}{410}\right) = 0.85$ berücksichtigt.

Für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis wird die Schneelast mit $\psi_1 = \left(1 - \frac{250}{410}\right) = 0.39$ abgemindert.

Es wird sowohl die gleichmässige Schneelast (SL_kompl) sowie die einseitige Schneelast (SL_eins) berücksichtigt.

3.3 Wind

Der Referenzwert des Staudruckes beträgt für Wädenswil: $q_{p0} = 0.9 \text{ kN/m}^2$

Der Höhenbeiwert beträgt: Geländekategorie: II mit $z_g = 410 \text{ m}$ und $\alpha_r = 0.23 \rightarrow c_h = 1.28$

Staudruck $q_p = 1.15 \text{ kN/m}^2$

Winddruckbeiwerte (Tafel 55 resp. 56), Global:

Wind $\varphi = 0^\circ$ mit Schnee, ohne Zug ($c_{f1} = 1.3$)

Wind seitlich auf Dachrand: $q_{w,DE,qH} = (1.1 \text{ m} + 0.25 \text{ m}) \cdot 1.15 \text{ kN/m}^2 \cdot 1.3 = \mathbf{2.02 \text{ kN/m}}$

Wind seitlich auf Stützen: $q_{w,St,qH} = 1.15 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.8 \text{ m} \cdot 2.0 = 1.84 \text{ kN/m} \rightarrow$ (Aus Tabelle 71)

Bezeichnung: **WL_mS_oZ**

➔ Massgebende Windeinwirkung

Wind $\varphi = 0^\circ$ ohne Schnee, ohne Zug (gemäss Formel Q1 «direkte Berechnung»)

Wind seitlich auf Dachrand: $q_{w,DE,qH} = 0.52 \text{ kN/m}$

Wind seitlich auf Stützen: $q_{w,St,qH} = 1.15 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.8 \text{ m} \cdot 2.0 = 1.84 \text{ kN/m} \rightarrow$ (Aus Tabelle 71)

Bezeichnung: **WL_oS_oZ**

Wind $\varphi = 0^\circ$ ohne Schnee, mit Zug (gemäss Formel Q1 «direkte Berechnung»)

Wind seitlich auf Dachrand: $q_{w,DE,qH} = 0.52 \text{ kN/m}$

Windsog auf Dachfläche $q_{w,DE,qV} = -0.53 \cdot 1.15 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{-0.61 \text{ kN/m}^2}$

Wind seitlich auf Stützen: $q_{w,St,qH} = 1.15 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.8 \text{ m} \cdot 2.0 = 1.84 \text{ kN/m} \rightarrow$ (Aus Tabelle 71)

Bezeichnung: **WL_oS_mZ**

Wind als Begleiteinwirkung wird mit einem Beiwert $\psi_0 = 0.60$ berücksichtigt.

Für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis wird die Windlast mit $\psi_1 = 0.50$ abgemindert.

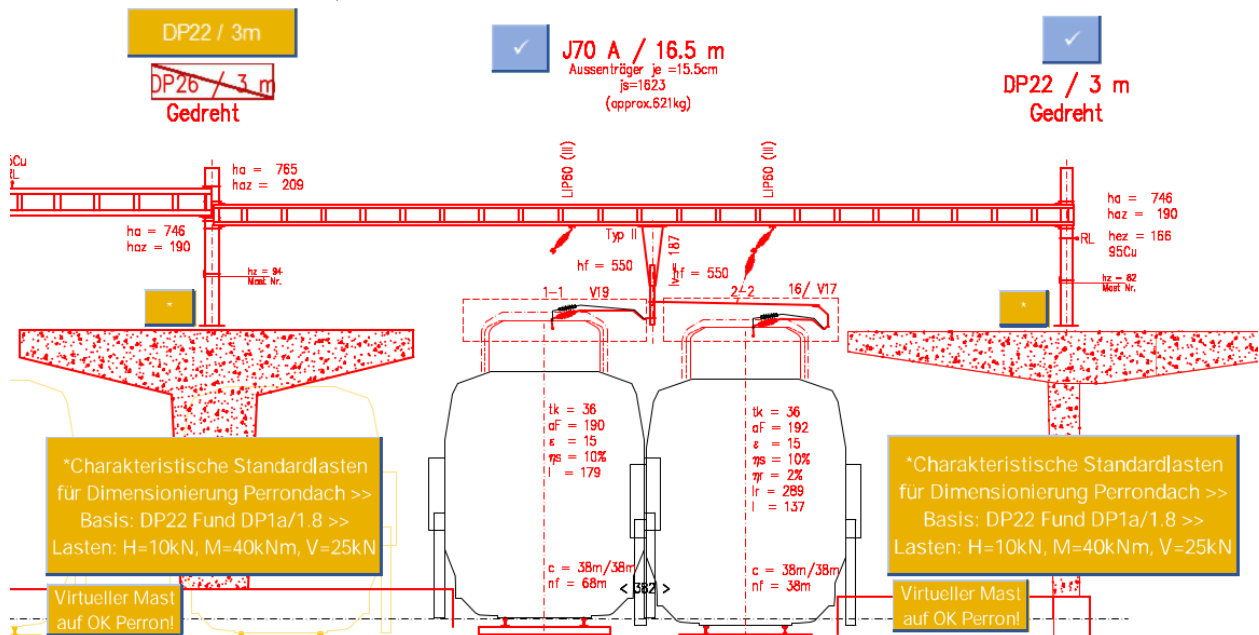
3.4 Fahrleitungsmasten

Angaben Marijo Novak SBB:

Typ DP22 Höhe = 3 m über Perrondach

Charakteristische Standardlasten für die Dimensionierung der Perrondächer ermittelt gemäss SBB Dok. 0161.1110.0020 und 0161.1011.0002. Lastanteile können zu 50% ständig u. 50% veränderlich angenommen werden.

Charakteristische Standardlasten für die Dimensionierung der Perrondächer ermittelt gemäss SBB Dok. 0161.1110.0020 und 0161.1011.0002. Lastanteile können zu 50% ständig u. 50% veränderlich angenommen werden.



Ständig:

Vertikale Kraft: $N_k = 12.5 \text{ kN}$

Hor. Kraft längs = Hor. Kraft quer: $V_{l,k} = V_{q,k} = \pm 5 \text{ kN}$

Hor. Biegemoment längs = Hor. Biegemoment quer: $M_{l,k} = M_{q,k} = \pm 20 \text{ kNm}$

Veränderlich:

Vertikale Kraft: $N_k = 12.5 \text{ kN}$

Hor. Kraft längs = Hor. Kraft quer: $V_{l,k} = V_{q,k} = \pm 5 \text{ kN}$

Hor. Biegemoment längs = Hor. Biegemoment quer: $M_{l,k} = M_{q,k} = \pm 20 \text{ kNm}$

Quer und Längs treten nicht gleichzeitig auf. Siehe Dokument 0161.1110.0020_a PERRONDÄCHER MIT FAHRLEITUNGSMASTEN – BERECHNUNGSGRUNDLAGEN:

«Die Lasten quer ($\perp$) und längs ($\parallel$) zum Gleis treten nicht gleichzeitig in voller Grösse auf.

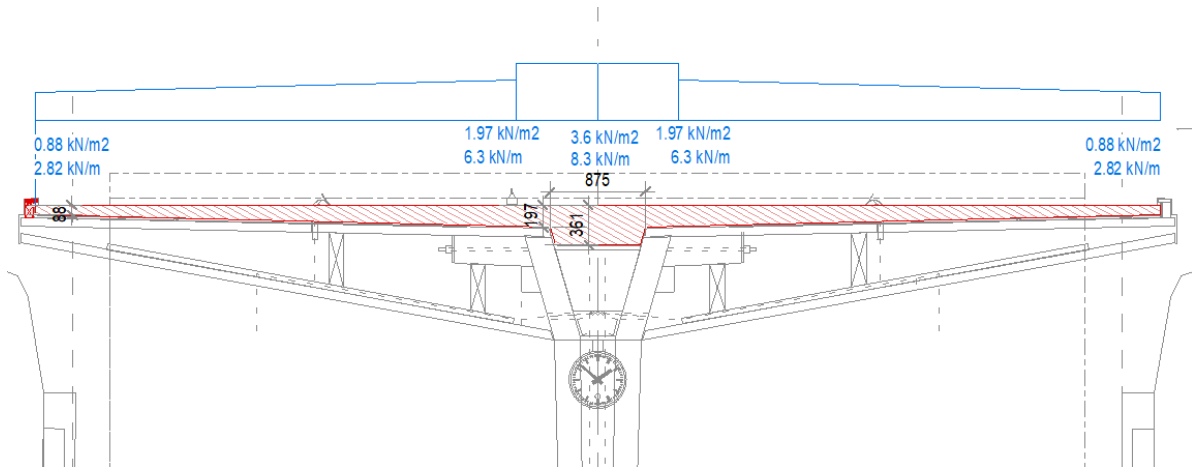
Lastkombinationen quer und längs werden genügend abgedeckt, wenn die Nachweise für die maximalen Lasten quer und längs zum Gleis einzeln erbracht werden. Die Vertikallast V und das Torsionsmoment T wirken sowohl für Lasten längs als auch für Lasten quer zum Gleis.»

3.5 Temperatur

Keine Berücksichtigung, da der Temperatursdehnungskoeffizient von Holz sehr gering ist.

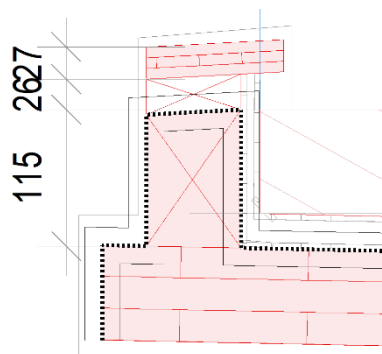
3.6 Wasser

Die Form der Entwässerung kann zu liegendem Wasser auf dem Dach führen. Bei vollem Wasserstau ergibt sich folgende Wasserlage:

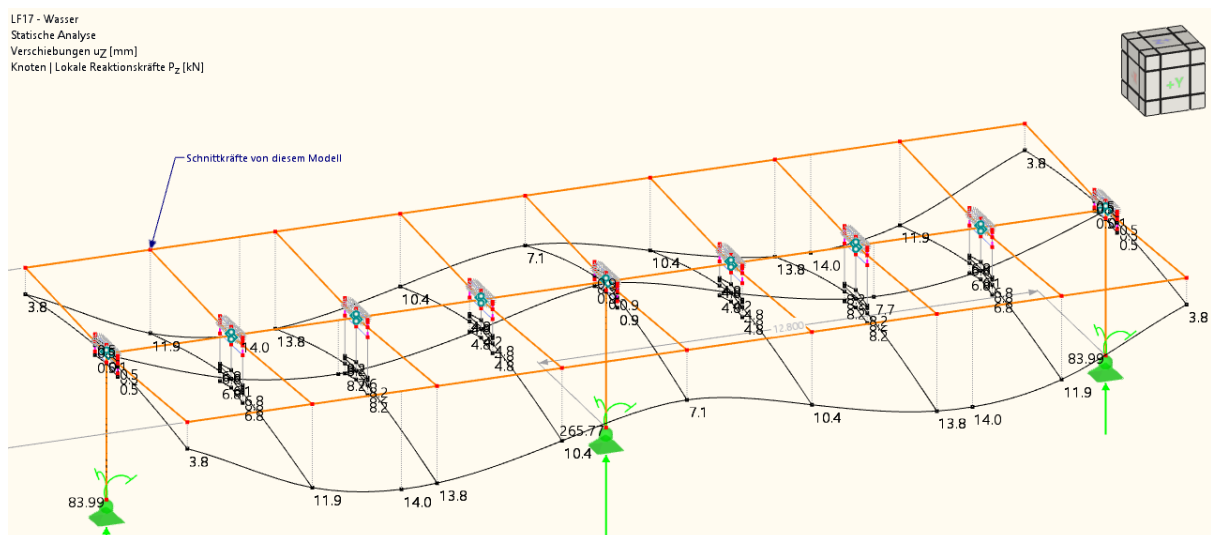


Diese extreme Wassersituation wird als aussergewöhnlich betrachtet und auch als solches Gefährdungsbild behandelt.

Um die Stauhöhe zu reduzieren wird der Dachrandträger in der Höhe reduziert und mittels unterbrochenen Füllhölzern aufgedoppelt.

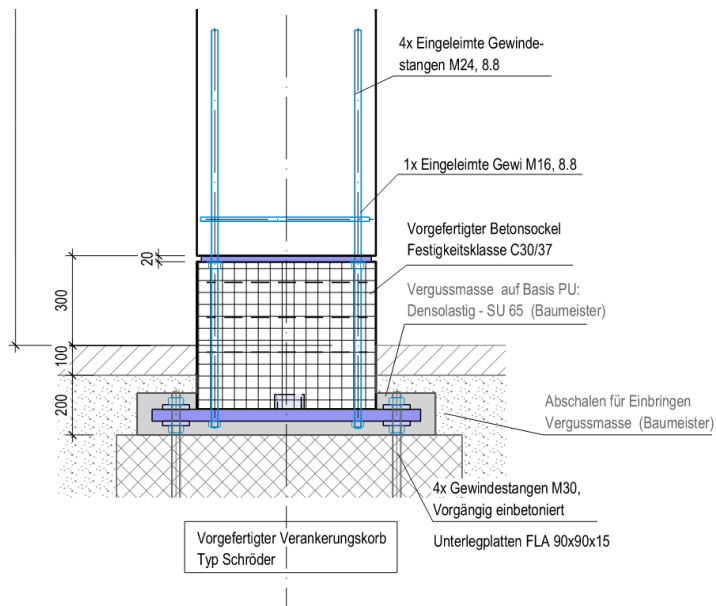


Wassersackbildung: In Feldmitte des Längsträgers kommen 9 mm durch die Verformung dazu. Der Dachrand senkt sich um 14 mm. In der Summe gleicht sich das wieder aus. Die ursprüngliche Stauhöhe ist also korrekt:



3.7 Anprall Perronfahrzeug

auf einer Höhe 0.3 m über OK Betonsockel, resp. 0.6 m über OK Perron nur in Längsrichtung (schwache Achse der Stützen).



3.8 Erdbeben

Erdbebenzone: Z1b $\rightarrow a_{gd} = 0.8 \text{ m/s}^2$

Baugrundklasse: D $\rightarrow S = 1.70$

Bauwerksklasse: II

Verhaltensbeiwert: $q = 1.5$

Bedeutungsbeiwert: $\gamma_f = 1.2 \gamma_f$

$$S_{d,max} = 2.5 \cdot 1.2 \cdot \frac{0.8}{9.81} \cdot \frac{1.70}{1.5} = 0.28$$

→ Erdbeben ist in Querrichtung nicht massgebend, in Längsrichtung hingegen schon.

3.9 Lastkombinationen GZT 2

Last-kombin.	Name
LK1	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig}$
LK2	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL$
LK3	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL \text{ einseitig}$
LK4	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL + 0.60 \cdot Wind$
LK5	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL \text{ einseitig} + 0.60 \cdot Wind$
LK6	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL + 0.60 \cdot Wind + FLM \text{ quer}$
LK7	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL + 0.60 \cdot Wind + FLM \text{ längs}$
LK8	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL \text{ einseitig} + 0.60 \cdot Wind + FLM \text{ quer}$
LK9	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL \text{ einseitig} + 0.60 \cdot Wind + FLM \text{ längs}$
LK10	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL + FLM \text{ quer}$
LK11	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL + FLM \text{ längs}$
LK12	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL \text{ einseitig} + FLM \text{ quer}$
LK13	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL \text{ einseitig} + FLM \text{ längs}$
LK14	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot Wind$
LK15	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + 1.50 \cdot Wind$
LK16	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + 1.50 \cdot Wind$
LK17	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + 1.50 \cdot Wind + FLM \text{ quer}$
LK18	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + 1.50 \cdot Wind + FLM \text{ längs}$
LK19	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + 1.50 \cdot Wind + FLM \text{ quer}$
LK20	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + 1.50 \cdot Wind + FLM \text{ längs}$
LK21	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot Wind + FLM \text{ quer}$
LK22	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot Wind + FLM \text{ längs}$
LK23	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot FLM \text{ quer}$
LK24	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot FLM \text{ längs}$
LK25	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + 1.50 \cdot FLM \text{ quer}$
LK26	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + 1.50 \cdot FLM \text{ längs}$
LK27	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + 1.50 \cdot FLM \text{ quer}$
LK28	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + 1.50 \cdot FLM \text{ längs}$
LK29	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + 0.60 \cdot Wind + 1.50 \cdot FLM \text{ quer}$
LK30	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + 0.60 \cdot Wind + 1.50 \cdot FLM \text{ längs}$
LK31	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + 0.60 \cdot Wind + 1.50 \cdot FLM \text{ quer}$
LK32	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + 0.60 \cdot Wind + 1.50 \cdot FLM \text{ längs}$
LK33	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.60 \cdot Wind + 1.50 \cdot FLM \text{ quer}$
LK34	$1.35 \cdot EG + 1.35 \cdot AL + 1.35 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.60 \cdot Wind + 1.50 \cdot FLM \text{ längs}$
LK35	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig}$
LK36	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL$
LK37	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL \text{ einseitig}$
LK38	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL + 0.60 \cdot Wind$
LK39	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL \text{ einseitig} + 0.60 \cdot Wind$
LK40	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL + 0.60 \cdot Wind + FLM \text{ quer}$
LK41	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL + 0.60 \cdot Wind + FLM \text{ längs}$
LK42	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL \text{ einseitig} + 0.60 \cdot Wind + FLM \text{ quer}$
LK43	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL \text{ einseitig} + 0.60 \cdot Wind + FLM \text{ längs}$

LK44	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL + FLM \text{ quer}$
LK45	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL + FLM \text{ längs}$
LK46	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL \text{ einseitig} + FLM \text{ quer}$
LK47	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot SL \text{ einseitig} + FLM \text{ längs}$
LK48	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot Wind$
LK49	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + 1.50 \cdot Wind$
LK50	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + 1.50 \cdot Wind$
LK51	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + 1.50 \cdot Wind + FLM \text{ quer}$
LK52	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + 1.50 \cdot Wind + FLM \text{ längs}$
LK53	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + 1.50 \cdot Wind + FLM \text{ quer}$
LK54	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + 1.50 \cdot Wind + FLM \text{ längs}$
LK55	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot Wind + FLM \text{ quer}$
LK56	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot Wind + FLM \text{ längs}$
LK57	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot FLM \text{ quer}$
LK58	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.50 \cdot FLM \text{ längs}$
LK59	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + 1.50 \cdot FLM \text{ quer}$
LK60	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + 1.50 \cdot FLM \text{ längs}$
LK61	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + 1.50 \cdot FLM \text{ quer}$
LK62	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + 1.50 \cdot FLM \text{ längs}$
LK63	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + 0.60 \cdot Wind + 1.50 \cdot FLM \text{ quer}$
LK64	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + 0.60 \cdot Wind + 1.50 \cdot FLM \text{ längs}$
LK65	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + 0.60 \cdot Wind + 1.50 \cdot FLM \text{ quer}$
LK66	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + 0.60 \cdot Wind + 1.50 \cdot FLM \text{ längs}$
LK67	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.60 \cdot Wind + 1.50 \cdot FLM \text{ quer}$
LK68	$0.80 \cdot EG + 0.80 \cdot AL + 0.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.60 \cdot Wind + 1.50 \cdot FLM \text{ längs}$
LK94	$EG + AG + Wasser \text{ (Aussergewöhnlich)}$

3.10 Lastkombinationen GZG

Selten

LK69	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig}$
LK70	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + SL$
LK71	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + SL \text{ einseitig}$
LK72	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + SL + 0.60 \text{ Wind}$
LK73	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + SL \text{ einseitig} + 0.60 \text{ Wind}$
LK74	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + SL + 0.60 \text{ Wind} + 1.64 \cdot FLM \text{ quer}$
LK75	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + SL + 0.60 \text{ Wind} + 1.64 \cdot FLM \text{ längs}$
LK76	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + SL \text{ einseitig} + 0.60 \text{ Wind} + 1.64 \cdot FLM \text{ quer}$
LK77	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + SL \text{ einseitig} + 0.60 \text{ Wind} + 1.64 \cdot FLM \text{ längs}$
LK78	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + SL + 1.64 \cdot FLM \text{ quer}$
LK79	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + SL + 1.64 \cdot FLM \text{ längs}$
LK80	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + SL \text{ einseitig} + 1.64 \cdot FLM \text{ quer}$
LK81	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + SL \text{ einseitig} + 1.64 \cdot FLM \text{ längs}$
LK82	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + Wind$
LK83	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + Wind$
LK84	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + Wind$
LK85	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + Wind + 1.64 \cdot FLM \text{ quer}$

LK86	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + Wind + 1.64 \cdot FLM \text{ längs}$
LK95	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + Wind + 1.64 \cdot FLM \text{ quer}$
LK96	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + Wind + 1.64 \cdot FLM \text{ längs}$
LK97	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + Wind + 1.64 \cdot FLM \text{ quer}$
LK98	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + Wind + 1.64 \cdot FLM \text{ längs}$
LK99	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.64 \cdot FLM \text{ quer}$
LK100	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.64 \cdot FLM \text{ längs}$
LK101	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + 1.64 \cdot FLM \text{ quer}$
LK102	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + 1.64 \cdot FLM \text{ längs}$
LK103	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + 1.64 \cdot FLM \text{ quer}$
LK104	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + 1.64 \cdot FLM \text{ längs}$
LK105	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + 0.60 \cdot Wind + 1.64 \cdot FLM \text{ quer}$
LK106	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL + 0.60 \cdot Wind + 1.64 \cdot FLM \text{ längs}$
LK107	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + 0.60 \cdot Wind + 1.64 \cdot FLM \text{ quer}$
LK108	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.85 \cdot SL \text{ einseitig} + 0.60 \cdot Wind + 1.64 \cdot FLM \text{ längs}$
LK109	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.60 \cdot Wind + 1.64 \cdot FLM \text{ quer}$
LK110	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.60 \cdot Wind + 1.64 \cdot FLM \text{ längs}$

Häufig

LK111	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig}$
LK112	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.39 \cdot SL$
LK113	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.39 \cdot SL \text{ einseitig}$
LK114	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.39 \cdot SL + 1.44 \cdot FLM \text{ quer}$
LK115	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.39 \cdot SL + 1.44 \cdot FLM \text{ längs}$
LK116	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.39 \cdot SL \text{ einseitig} + 1.44 \cdot FLM \text{ quer}$
LK117	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.39 \cdot SL \text{ einseitig} + 1.44 \cdot FLM \text{ längs}$
LK118	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.50 \cdot Wind$
LK119	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.50 \cdot Wind + 1.44 \cdot FLM \text{ quer}$
LK120	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.50 \cdot Wind + 1.44 \cdot FLM \text{ längs}$
LK121	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.54 \cdot FLM \text{ quer}$
LK122	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.54 \cdot FLM \text{ längs}$

Quasi-ständig

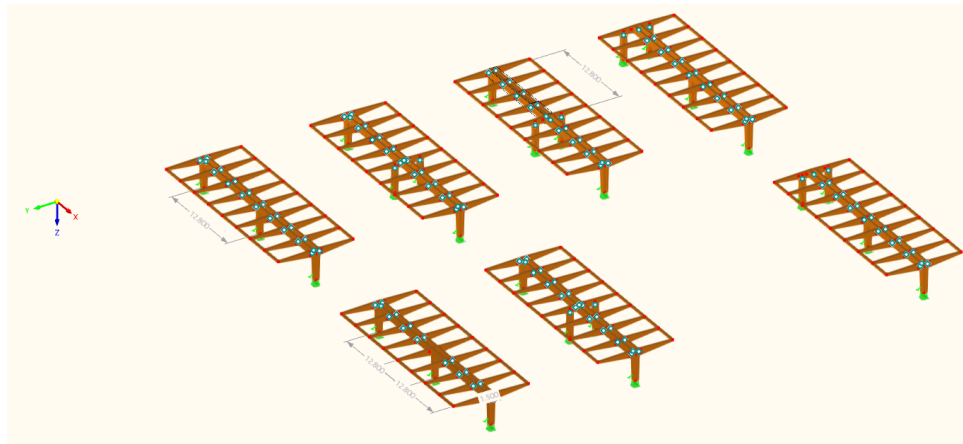
LK123	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig}$
LK124	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.44 \cdot FLM \text{ quer}$
LK125	$1.80 \cdot EG + 1.80 \cdot AL + 1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 1.44 \cdot FLM \text{ lngs}$

Fahrleitungsmasten

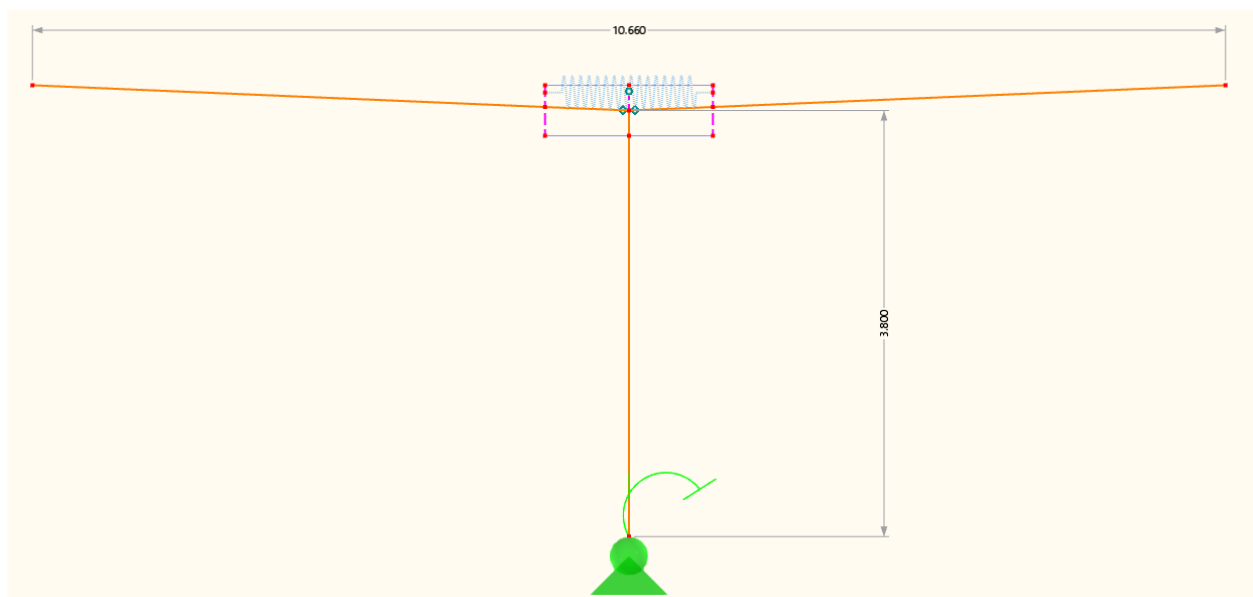
LK88	$1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + FLM \text{ quer}$
LK89	$1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.39 \cdot SL \text{ einseitig} + 0.80 \cdot FLM \text{ quer}$
LK90	$1.80 \cdot FLM \text{ ständig} + 0.50 \cdot Wind + 0.80 \cdot FLM \text{ quer}$
LK91	$FLM \text{ quer}$
LK92	$0.50 \cdot Wind + 0.80 \cdot FLM \text{ quer}$
LK93	$0.39 \cdot SL \text{ einseitig} + 0.80 \cdot FLM \text{ quer}$

4 Modellbildung

Die Berechnung der Schnittkräfte und der Verformungen wurde an mehreren 3-D-Modellen durchgeführt:

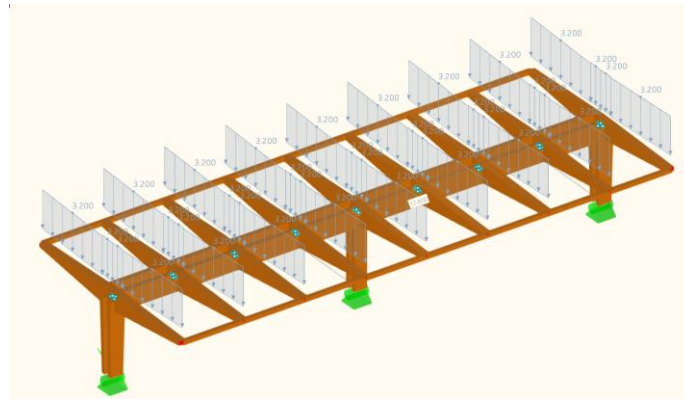


Es wurden dafür die Stützen, die Hauptträger, die Querträger, sowie zur Stabilisierung der Randträger modelliert. Zusätzlich wurde der Anschluss der Querträger an den Hauptträger nachgiebig modelliert. Es wurde für die Situationen Einzelstütze, Doppelstütze symmetrisch, Doppelstütze asymmetrisch eine zweifeldige Struktur modelliert. Dabei wurden die Randstützen nur als eine Hälfte modelliert und die Einspannung am Stützenfuss halbiert, um nicht die doppelte Steifigkeit anzusetzen. Für den Fall Doppelstütze symmetrisch Einfeldträger wurde ein Einfeldträger mit zweimal einer halben Stütze modelliert.

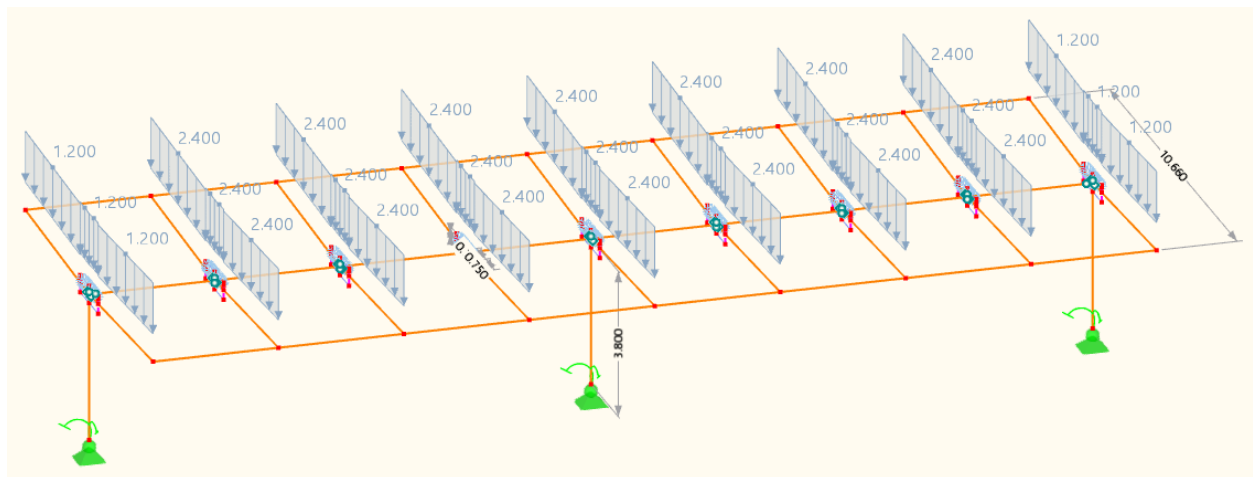


4.1 Lasten

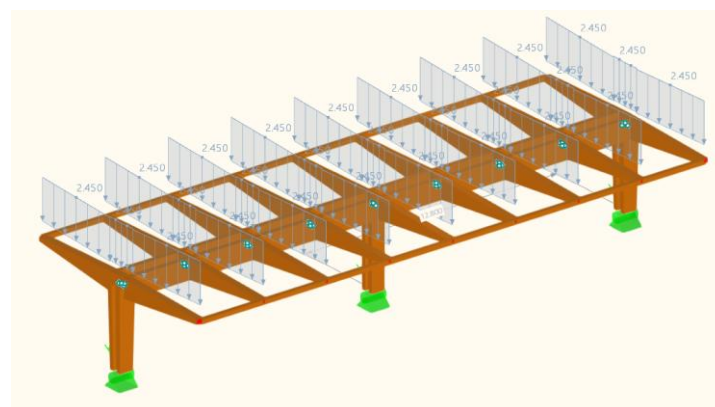
Eigengewicht: $g_k = 3.2 \text{ kN/m}$



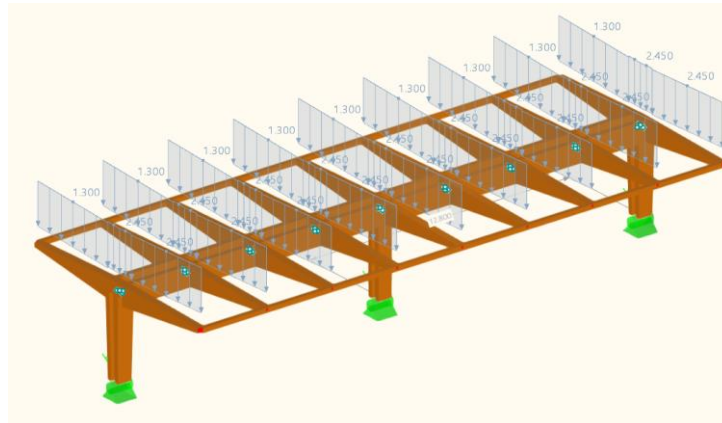
Auflast: $q_{A,k} = 2.4 \text{ kN/m}$



Schneelast komplett: $q_{s,k, \text{kompl}} = 2.45 \text{ kN/m}$

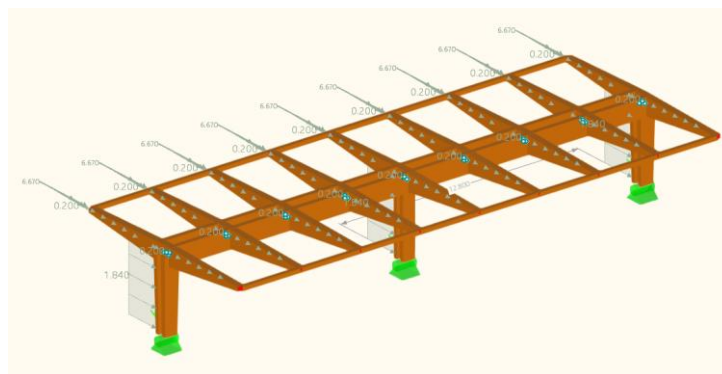


Schneelast einseitig: $q_{s,k,ins,1} = 2.45 \text{ kN/m}$ und $q_{s,k,ins,2} = 1.30 \text{ kN/m}$



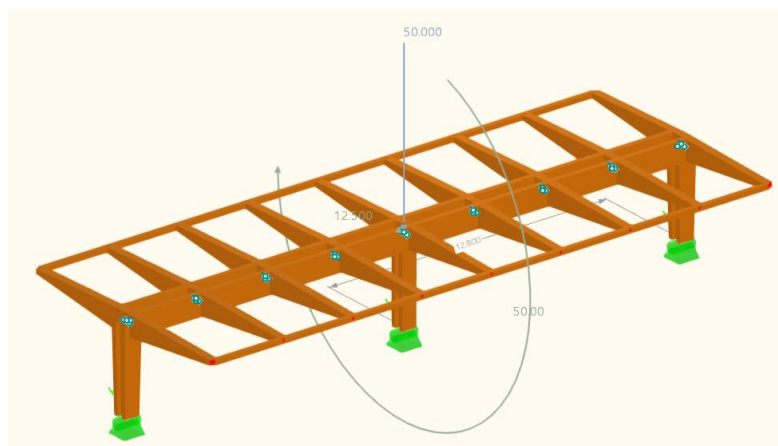
Wind mit Schnee, ohne Zug:

Horizontale Punktlast von $Q_w = 6.67 \text{ kN}$ auf Querträger, horizontale Linienlast von $q_{w,k,DE} = 0.2 \text{ kN/m}$ auf die Querträger (Reibung Dachfläche) sowie $q_{w,k,St} = 1.84 \text{ kN/m}$ Linienlast auf die Stützen:



Fahrleitungsmast ständig und veränderlich (2mal unabhängig voneinander)

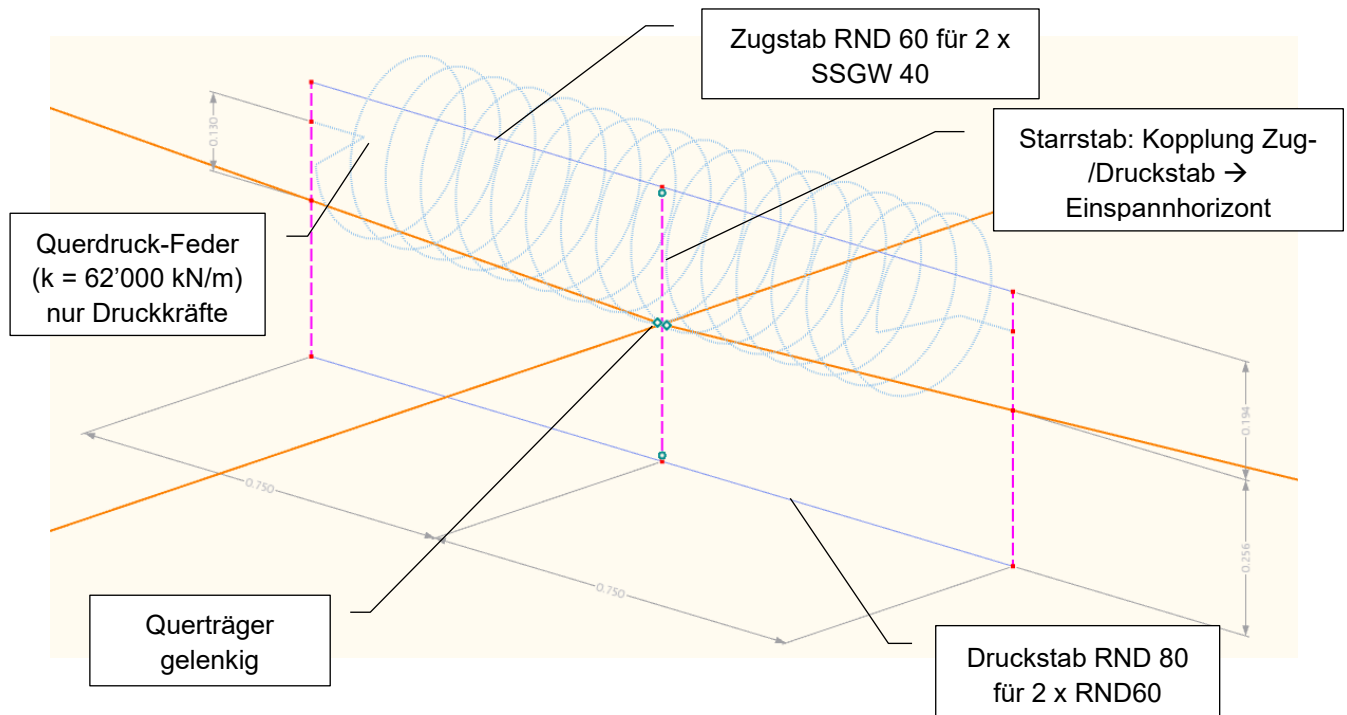
Punktlast in Querrichtung $Q_{FLM,h} = \pm 5 \text{ kN}$, Punktlast vertikal $Q_{FLM,v} = 12.5 \text{ kN}$ und Biegemoment $M_{FLM} = \pm 20 \text{ kNm}$. Angesetzt in Längs- und in Querrichtung.



4.2 Modellierung

Verbindung Querträger – Längsträger

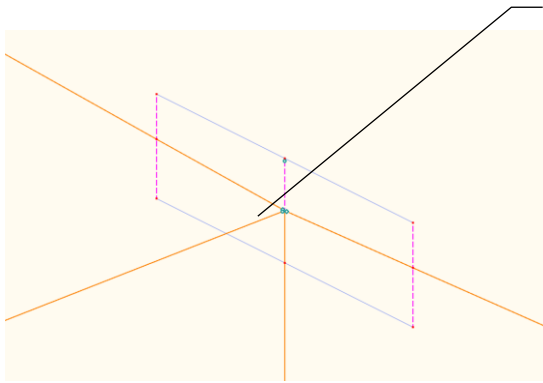
Da die Stäbe in ihren Schwerpunktsachsen modelliert sind, wurde die Einhängung der Querträger folgendermassen aufgebaut:



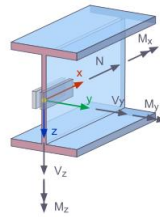
Damit lassen sich einerseits die Zug- und Druckkräfte sofort auslesen und andererseits wird die Rotationssteifigkeit der Verbindung berücksichtigt.

Der Hebelarm zwischen Druck- und Zugstab wurde zu 0.45 m gewählt. Dies liegt auf der sicheren Seite, da im Regelquerschnitt der Hebelarm 0.5 m beträgt.

Längsträger auf seitlicher Stütze



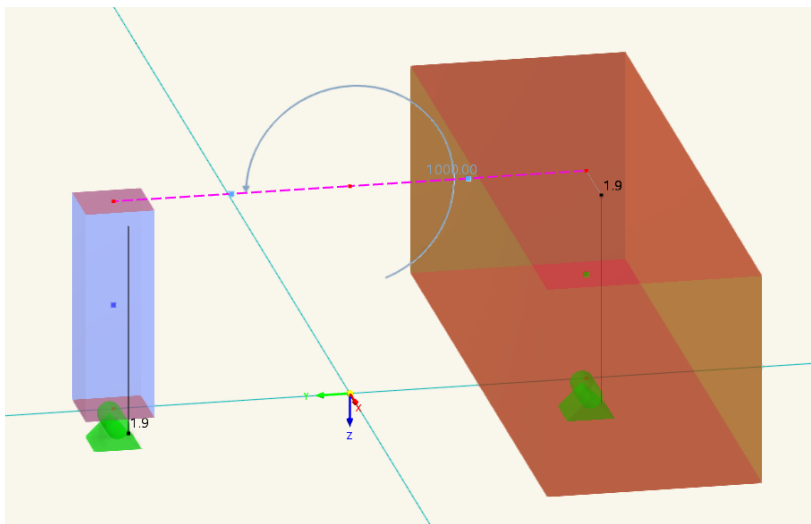
Gelenkiger Anschluss der Längsträgers um lokale y- und z-Richtung



Einspannung Fusspunkt Stützen

Die Federsteifigkeit am Stützenfuss wurde mittels Ersatzsystem bestimmt:

Es wurden dafür die Gewindestangen im Schwerpunkt zusammengefasst und im Abstand des Hebelarmes mit einer Hälfte der Holzstütze gekoppelt. Die Höhe der beiden Stäbe wurde zu 20 cm gewählt. Der Koppelstab wurde als Starrstab modelliert und mittig mit einem Moment von 1000 kNm belastet.

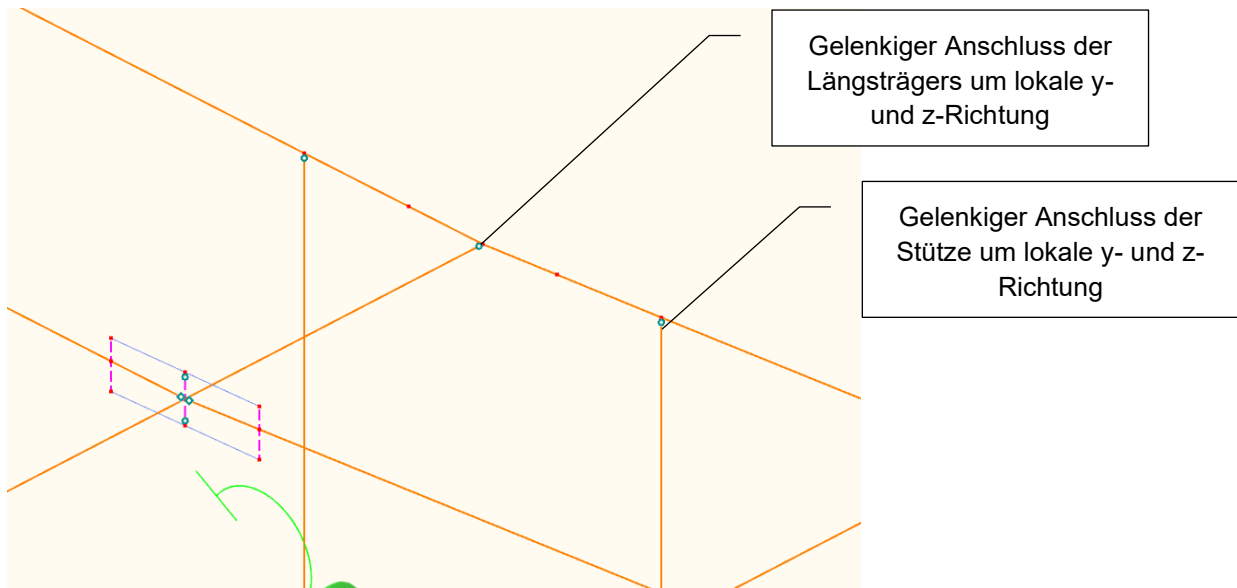


Über die Verdrehung des Starrstabes um 1.9 mrad konnte dann die Rotationssteifigkeit der Einspannung bestimmt werden:

$$C_{\varphi,x} = 526'316 \frac{\text{kNm}}{\text{rad}}$$

Die Rotationssteifigkeit um die y-Achse wurde vereinfachend gleich jener um die x-Achse gewählt.

Verbindung Doppelstützen – Querträger – Längsträger

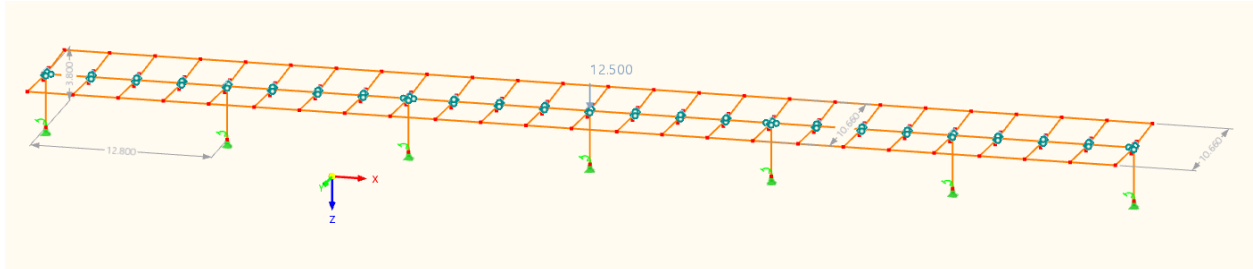


Für die nachfolgenden Nachweise werden die Schnittkräfte und Verformungen aus dem Modell verwendet. Im Anhang ist eine Plausibilisierung der Schnittkräfte mittels Handrechnung zu finden.

6 Schnittkräfte

6.1 Erdbeben

Die Schnittkräfte für die Einzelstützen mit FLM wurde an einem zusammengesetzten Modell aus drei Zweifeldträgern berechnet, um die Verteilung der Kräfte besser abzubilden:



6.1.1 Quer

$$T1 = 0.464 \text{ s}$$

	F_y	F_z	M_x
Aus Erdbeben	90 kN	—	346 kNm
Ständige Lasten	2 kN	407.5 kN	25 kNm
Total	92 kN	407.5 kN	371 kNm

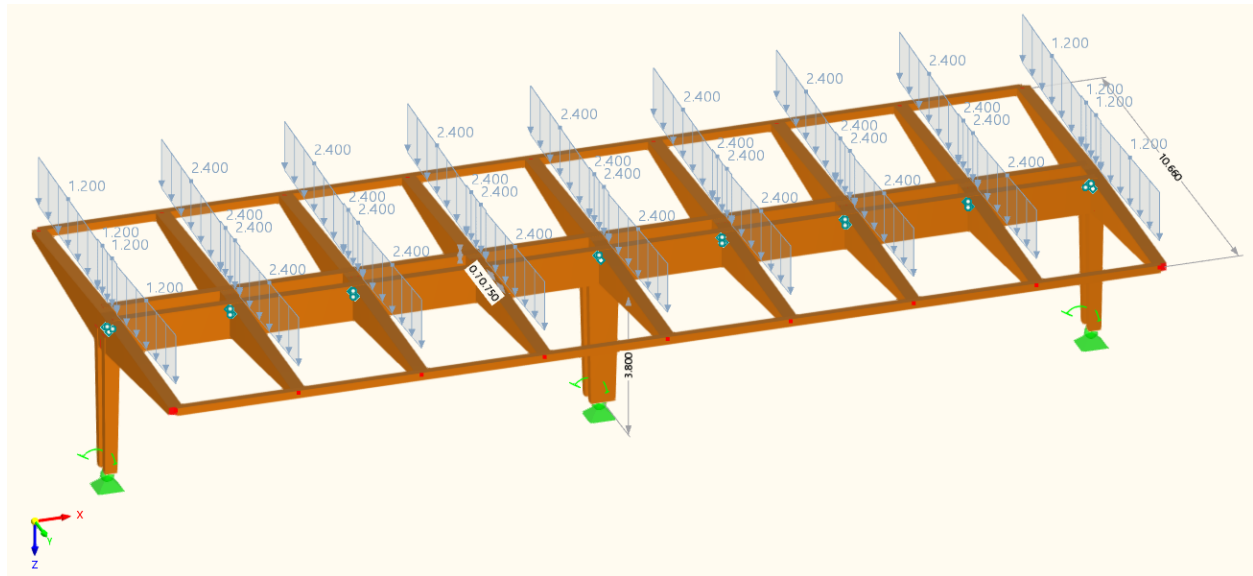
6.1.2 Längs

$$T1 = 0.408 \text{ s}$$

	F_x	F_z	M_y
Aus Erdbeben	132 kN	—	254 kNm
Ständige Lasten	1 kN	407.5 kN	3 kNm
Total	133 kN	407.5 kN	257 kNm

6.2 GZT

Am System Zweifeldträger berechnet:



	N	V_y	V_z	M_x	M_y	M_z
Einspannung Stütze	7 kN	72 kN	762 kN	383 kNm	18 kNm	—
Längsträger	—	—	290 kN	11 kNm	864 kNm	65 kNm

Aussergewöhnliche Lastsituation Wasser (EG + AL + Wasser) ist nicht massgebend.

7 Bemessung GZT Bauteile

7.1 Materialien

GL24h → Stützen, Querträger

Feuchteklasse 2

Biegefestigkeit	$f_{m,d} = 12.8 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit	$f_{t,0,d} = 10.2 \text{ N/mm}^2$
Druckfestigkeit	$f_{c,0,d} = 12.8 \text{ N/mm}^2$
Schubfestigkeit	$f_{v,d} = 1.44 \text{ N/mm}^2$
Querdruckfestigkeit	$f_{c,90,d} = 2.0 \text{ N/mm}^2$
E-Modul	$E_m = 11'500 \text{ N/mm}^2$ (mit $\eta_w = 0.9$ abgemindert)
Rohdichte	$\rho_k = 385 \text{ kg/m}^3$
Kriechbeiwert	$\varphi = 0.8$

GL28c → Längsträger

Biegefestigkeit	$f_{m,d} = 15.0 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit	$f_{t,0,d} = 10.4 \text{ N/mm}^2$
Druckfestigkeit	$f_{c,0,d} = 12.8 \text{ N/mm}^2$
Schubfestigkeit	$f_{v,d} = 1.44 \text{ N/mm}^2$
Querdruckfestigkeit	$f_{c,90,d} = 2.1 \text{ N/mm}^2$
E-Modul	$E_m = 12'500 \text{ N/mm}^2$ (mit $\eta_w = 0.9$ abgemindert)
Rohdichte	$\rho_k = 390 \text{ kg/m}^3$
Kriechbeiwert	$\varphi = 0.8$

GL28h → Querträger Doppelstütze

Biegefestigkeit	$f_{m,d} = 15.0 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit	$f_{t,0,d} = 11.0 \text{ N/mm}^2$
Druckfestigkeit	$f_{c,0,d} = 15.0 \text{ N/mm}^2$
Schubfestigkeit	$f_{v,d} = 1.44 \text{ N/mm}^2$
Querdruckfestigkeit	$f_{c,90,d} = 2.1 \text{ N/mm}^2$
E-Modul	$E_m = 12'600 \text{ N/mm}^2$ (mit $\eta_w = 0.9$ abgemindert)
Rohdichte	$\rho_k = 425 \text{ kg/m}^3$
Kriechbeiwert	$\varphi = 0.8$

3-Schichtplatten → Beplankung

Biegefestigkeit	$f_{m,d} = 12.8 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit	$f_{t,0,d} = 10.2 \text{ N/mm}^2$
Druckfestigkeit	$f_{c,0,d} = 12.8 \text{ N/mm}^2$
Schubfestigkeit	$f_{v,d} = 1.44 \text{ N/mm}^2$
Rollschubfestigkeit	$f_{v,xy,d} = 0.56 \text{ N/mm}^2$
Querdruckfestigkeit	$f_{c,90,d} = 2.0 \text{ N/mm}^2$
E-Modul	$E_m = 11'500 \text{ N/mm}^2$ (mit $\eta_w = 0.9$ abgemindert)
Rohdichte	$\rho_k = 385 \text{ kg/m}^3$
Kriechbeiwert	$\varphi = 1.0$

Verbindungsmittel Holz

Tragfähigkeiten gemäss	$\gamma_m = 1.3$
Herstellerangaben	$\eta_m = 0.8$
Sicherheitsbeiwerte:	$\eta_w = 0.8$

7.2 Stützen in Querrichtung

7.2.1 Einzelstütze

Unterscheidung Lastkombinationen:

1. Grösstes Moment:
 $M_{Ed} = 383 \text{ kNm}$, $N_{Ed} = 653 \text{ kN}$ (LK19)
2. Grösste Normalkraft
 $M_{Ed} = 171 \text{ kNm}$, $N_{Ed} = 762 \text{ kN}$ (LK6)
3. Grosses Moment, kleine Normalkraft
 $M_{Ed} = 300 \text{ kNm}$, $N_{Ed} = 343 \text{ kN}$ (LK55)

Berechnung nach Lignum HBT1:2021 S.76/77:

$$V_{Ed,max} = 92 \text{ kN}$$

Schubspannung Mitte	$\tau_d = 1.27 \frac{N}{\text{mm}^2} < 1.44 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{v,d}$	i. O.
Schubspannung Fuge	$\tau_{Fuge,d} = 0.80 \frac{N}{\text{mm}^2} < 1.44 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{v,d}$	i. O.

Fall 1

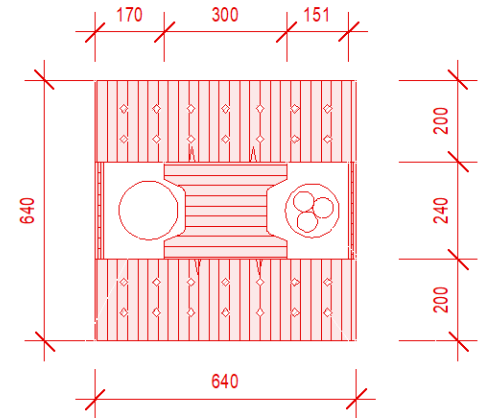
Schwerpunktspannung	$\sigma_{t,0,d} = \pm 7.6 \frac{N}{\text{mm}^2} < 10.2 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{t,0,d}$	i. O.
Normalspannung	$\sigma_{c,0,d} = -2.1 \frac{N}{\text{mm}^2} < 12.8 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{c,0,d}$	i. O.
Biegedruck mit $N_{max,d}$	$\left[\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right]^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = 0.7 \leq 1$	i. O.
Biegezug mit $N_{min,d}$	$\sigma_{m,d} = 7.0 \frac{N}{\text{mm}^2} < 12.8 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{m,d}$	i. O.

Fall 2

Schwerpunktspannung	$\sigma_{t,0,d} = \pm 3.4 \frac{N}{\text{mm}^2} < 10.2 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{t,0,d}$	i. O.
Normalspannung	$\sigma_{c,0,d} = -2.4 \frac{N}{\text{mm}^2} < 12.8 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{c,0,d}$	i. O.
Biegedruck mit $N_{max,d}$	$\left[\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right]^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = 0.4 \leq 1$	i. O.
Biegezug mit $N_{min,d}$	$\sigma_{m,d} = 1.6 \frac{N}{\text{mm}^2} < 12.8 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{m,d}$	i. O.

Fall 3

Schwerpunktspannung	$\sigma_{t,0,d} = \pm 6.0 \frac{N}{\text{mm}^2} < 10.2 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{t,0,d}$	i. O.
Normalspannung	$\sigma_{c,0,d} = -1.1 \frac{N}{\text{mm}^2} < 12.8 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{c,0,d}$	i. O.
Biegedruck mit $N_{max,d}$	$\left[\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right]^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = 0.6 \leq 1$	i. O.
Biegezug mit $N_{min,d}$	$\sigma_{m,d} = 6.0 \frac{N}{\text{mm}^2} < 12.8 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{m,d}$	i. O.

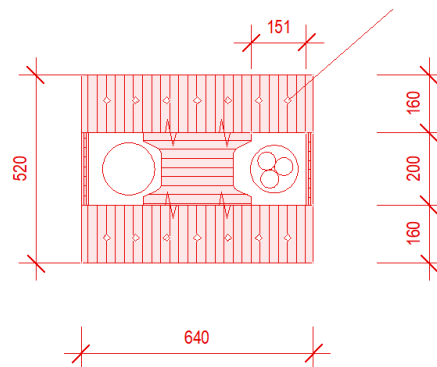


7.2.2 Doppelstütze

Unterscheidung Lastkombinationen:

1. Grösstes Moment
 $M_{Ed} = 202 \text{ kNm}$, $N_{Ed} = 236 \text{ kN}$ (LK14)
2. Grosses Moment, kleine Normalkraft
 $M = 196 \text{ kNm}$, $N = 145 \text{ kN}$ (LK35)

$$V_{Ed,max} = 40 \text{ kN}$$



Schubspannung Mitte	$\tau_d = 0.42 \frac{N}{\text{mm}^2} < 1.44 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{v,d}$	i. O.
Schubspannung Fuge	$\tau_{Fuge,d} = 0.26 \frac{N}{\text{mm}^2} < 1.44 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{v,d}$	i. O.

Fall 1

Schwerpunktspannung	$\sigma_{t,0,d} = \pm 4.5 \frac{N}{\text{mm}^2} < 10.2 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{t,0,d}$	i. O.
Normalspannung	$\sigma_{c,0,d} = -0.9 \frac{N}{\text{mm}^2} < 12.8 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{c,0,d}$	i. O.
Biegedruck mit $N_{max,d}$	$\left[\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right]^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = 0.4 \leq 1$	i. O.
Biegezug mit $N_{min,d}$	$\sigma_{m,d} = 4.3 \frac{N}{\text{mm}^2} < 12.8 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{m,d}$	i. O.

Fall 2

Schwerpunktspannung	$\sigma_{t,0,d} = \pm 4.4 \frac{N}{\text{mm}^2} < 10.2 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{t,0,d}$	i. O.
Normalspannung	$\sigma_{c,0,d} = -0.5 \frac{N}{\text{mm}^2} < 12.8 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{c,0,d}$	i. O.
Biegedruck mit $N_{max,d}$	$\left[\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right]^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = 0.4 \leq 1$	i. O.
Biegezug mit $N_{min,d}$	$\sigma_{m,d} = 4.5 \frac{N}{\text{mm}^2} < 12.8 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{m,d}$	i. O.

7.3 Stützen in Längsrichtung

Es wird nicht mit einem Verbundquerschnitt, sondern mit je zwei gekoppelten Stützen gerechnet. Die massgebende Beanspruchung in Längsrichtung ergibt sich durch die Erdbebenbeanspruchung. Die Anpralllast gibt kleinere Querkraft und Biegemomente:

$$F_{H,Ed} = 1.5 \cdot 60 \text{ kN} = 90 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 90 \text{ kN} \cdot 0.3 \text{ m} = 33 \text{ kNm}$$

Einzelstütze - Schnittkräfte

Normalkraft	$N = 407.5 \text{ kN}$
Moment	$M_y = 257 \text{ kNm}$
Querkraft	$V = 132 \text{ kN}$

Einzelstütze- Nachweise

Biegedruck mit N	$\left[\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right]^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = 0.9 \leq 1$	i. O.
Schubspannung	$\tau_d = 0.77 \frac{N}{\text{mm}^2} < 1.44 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{v,d}$	i. O.

Doppelstütze - Schnittkräfte

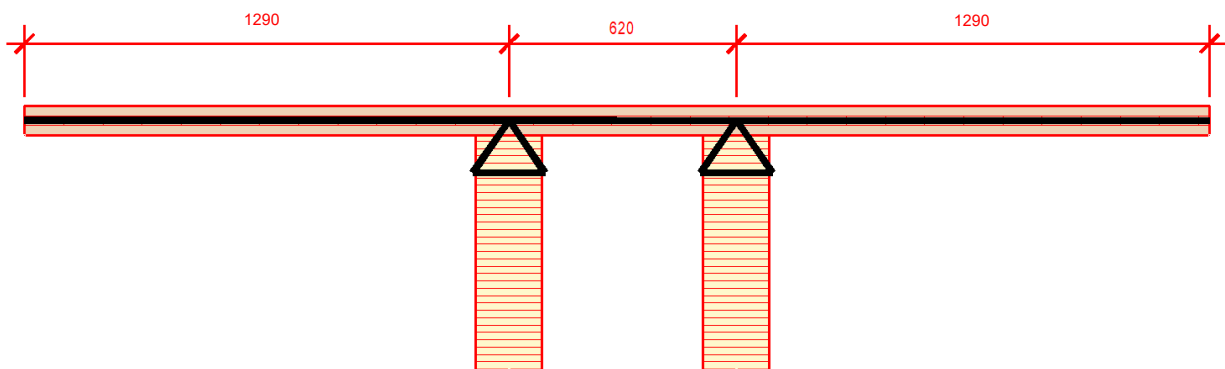
Normalkraft	$N = 124 \text{ kN}$ (Ständig wirkende Lasten)
Moment	$M_y = 170 \text{ kNm}$
Querkraft	$V = 50 \text{ kN}$

Doppelstütze - Nachweise

Biegedruck mit N	$\left[\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right]^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = 0.62 \leq 1$	i. O.
Schubspannung	$\tau_d = 0.77 \frac{N}{\text{mm}^2} < 1.44 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{v,d}$	i. O.

7.4 Dach

Statisches System - Dach



Lasten

Dachschalung, 80 mm Brettsper Holz:	$g_k = 0.4 \text{ kN/m}^2$
Photovoltaikanlage inkl. Unterkonstruktion:	$q_{A,k} = 0.60 \text{ kN/m}^2$
Schneelast:	$q_{S,k} = 0.76 \text{ kN/m}^2$

Lastkombination (Design): $q_{Ed} = 1.35 \cdot (g_k + q_{A,k}) + 1.5 \cdot q_{S,k} = 2.5 \text{ kN/m}^2$

Schnittkräfte

Auflagerkräfte:	$F_A = F_B = 4.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Querkraft:	$V_{Ed} = 3.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Moment	$M_{Ed} = 2.1 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$

Nachweise

Spannungsermittlung:

d [mm]	Orientation		Schub x [N/mm ²]	Biegung x [N/mm ²]
			Lamellenmitte	Randspannung
20	0	↔	0.06	2.3
40	90	↕		0.0
20	0	↔	0.06	-2.3

Biegenachweis:	$\sigma_{m,d} = 2.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 12.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = f_{m,d}$	i. O.
Schubnachweis:	$\tau_d = 0.06 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 1.44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = f_{v,d}$	i. O.

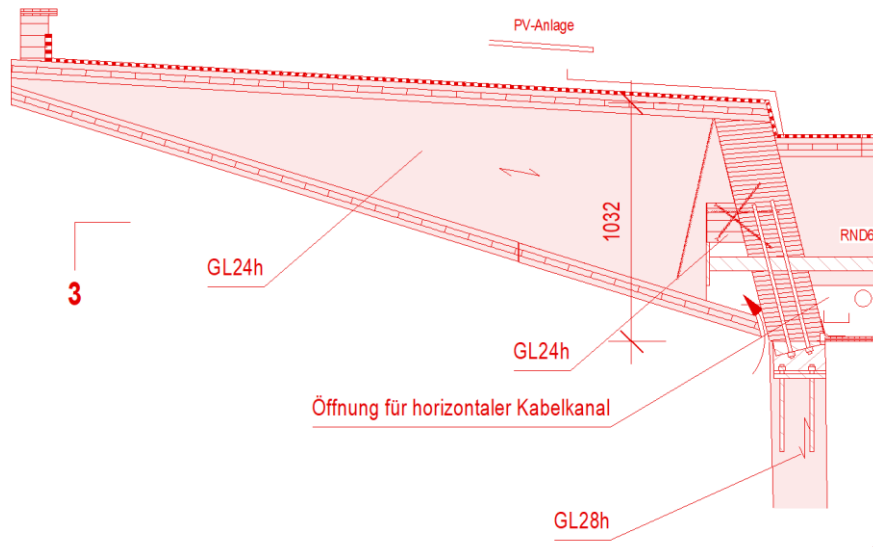
7.5 Querträger Einzelstütze/Feld

Statisches System - Kragarm:

BSH GL24h, 2 x 180 x var. h mm, an Trägerende $h_{\min} = 780\text{mm}$.

Max. Faseranschnittswinkel untere Kante $\alpha = 9.4^\circ$.

Trägerabstand $a = 3.20\text{ m}$.



Schnittkräfte

Am Auflager (LK8): $M_{Ed} = 170.0\text{ kNm}$

$V_{Ed} = 67.6\text{ kN}$

Nachweise

Biegerandspannung oberer Rand $\sigma_{m,0,d} = 4.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 12.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = f_{m,d}$ *i. O.*

Biegerandspannung unterer Rand $\sigma_{m,\alpha,d} = \frac{\sigma_{m,0,d}}{\cos^2(\alpha)} = 4.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 12.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = f_{m,d}$ *i. O.*

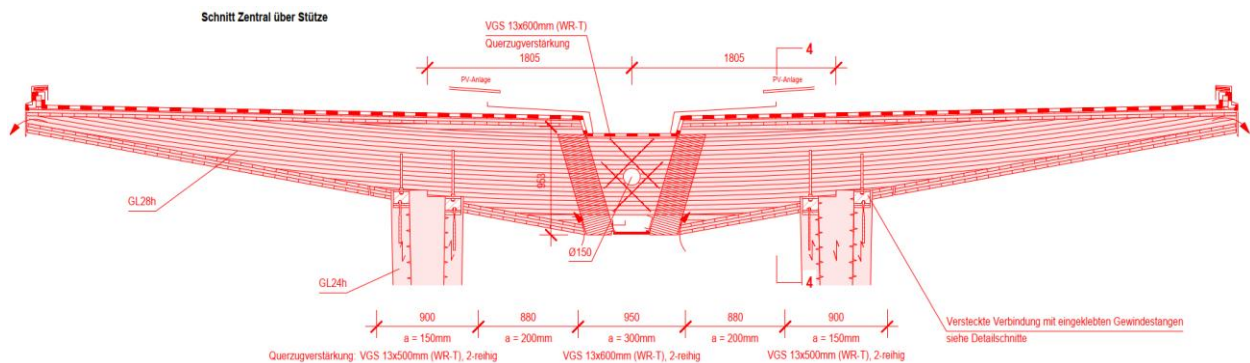
Schubspannung $\tau_d = 0.36 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 1.44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = f_{v,d}$ *i. O.*

7.6 Querträger Doppelstütze symmetrisch

Statisches System - Einfacher Balken mit beidseitiger Auskrägung.

Radius gebogener Teil: $R = 29 \text{ m}$

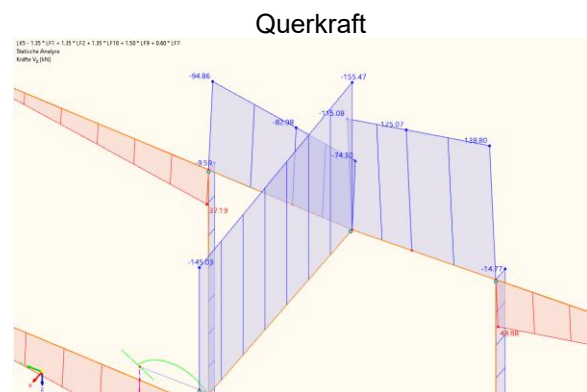
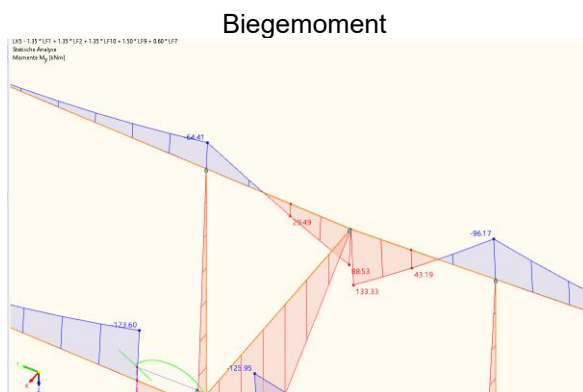
Faseranschnitt oben $\alpha = 5.2^\circ$ unten: $\alpha = 6.5^\circ$



Schnittkräfte pro Träger ($b=320 \text{ mm}$)

Trägermitte: $M_d = 133.9 \text{ kNm}$
 $V_d = 125.1 \text{ kN}$

Beim Auflager: $M_d = 96.2 \text{ kNm}$
 $V_d = 138.8 \text{ kN}$



Biegnachweis in Trägermitte:

Festigkeitsnachweis gekrümmter Biegeträger

nach SIA Kap. 5.1.3

Eingabe:

Festigkeitsklasse:	GL28h
Feuchteklasse:	Feuchteklasse 2
Breite (b):	320 mm
Höhe (h):	700 mm
Radius (r):	29000 mm
Lamellendicke (t):	40 mm
Aussenrand	Biegezug
Bemessungsmoment $M_{d,y}$:	140 kNm

Angaben Kippen schwache Achse

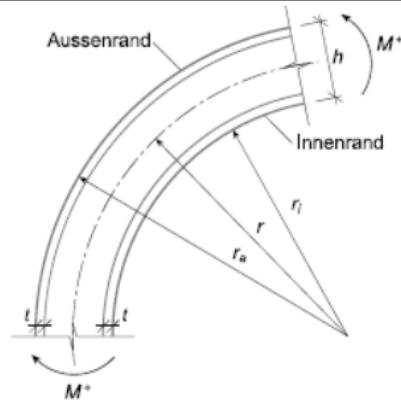
Abstand Kipphalterungen	2000 mm
-------------------------	---------

Festigkeitswerte nach SIA 265:

$f_{c,90,d}$	2.00 N/mm ²
$f_{t,90,d}$	0.15 N/mm ²
$f_{m,d}$	18.50 N/mm ²

Bemessungswerte Spannungen

Biegerandspannung aussen: $\sigma_{m,a,d}$	5.35 N/mm ²
Biegerandspannung innen: $\sigma_{m,i,d}$	5.42 N/mm ²
Radialspannungsspannung: $\sigma_{90,d}$	0.03 N/mm ²



Zwischenresultate:

Aussenradius (r_a):	29'350 mm
Innenradius (r_i):	28'650 mm
Querschnittsfläche A:	224'000 mm ²
W_y	26'133'333 mm ³
k_r	1
η_{W_i}	0.8
λ_{rel}	0.22
k_m	1.000
k_n	1.000

Bemessung:

Auslastung Kippen	$\sigma_{m,d}$	5.35 N/mm ²	36.2%	von	$\eta_{W_i}^* k_m^* f_{m,d}^* k_n$	14.80 N/mm ²
Auslastung Biegung am Aussenrand	$\sigma_{m,a,d}$	5.35 N/mm ²	38.3%	von	$\eta_{W_i}^* f_{m,d}^* k_r^* k_n$	13.99 N/mm ²
Auslastung Biegung am Innenrand	$\sigma_{m,i,d}$	5.42 N/mm ²	36.6%	von	$\eta_{W_i}^* f_{m,d}^* k_n$	14.80 N/mm ²
Auslastung Radialspannung Querdruck	$\sigma_{c,90,d}$	0.03 N/mm ²	2.0%	von	$\eta_{W_i}^* f_{c,90,d}$	1.60 N/mm ²
Auslastung Radialspannung Querzug	$\sigma_{t,90,d}$	0.03 N/mm ²	26.9%	von	$\eta_{W_i}^* f_{t,90,d}$	0.12 N/mm ²

Biege- und Querkzugnachweis an Auflagern

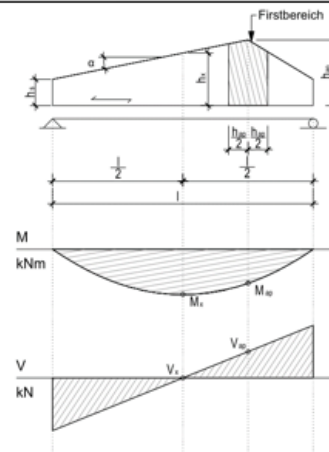
Biegefestigkeits- und Querkzugnachweis Satteldachträger

nach EC5

Eingabe:	
Festigkeitsklasse:	GL28h
Feuchteklasse:	Feuchteklasse 2
Breite (b)	320 mm
Höhe (h _x)	560 mm
Höhe (h _{ap})	700 mm
Faseranschnittwinkel (α)	7°
Belastung Biegung schräg zur Faser	Biegedruck
Bemessungsmoment M _{x,d,y}	95 kNm
Bemessungsmoment M _{ap,d,y}	95 kNm
Querkraft V _{ap,d}	140 kN

Festigkeitswerte nach SIA 265:		
f _{v,d}	1.80	N/mm ²
f _{c,90,d}	2.00	N/mm ²
f _{t,90,d}	0.15	N/mm ²
f _{m,d}	18.50	N/mm ²

Bemessungswert Biegespannungen		
Biegerandspannung:	σ _{m,x,0,d}	5.97 N/mm ²
Biegerandspannung:	σ _{m,x,a,d}	5.68 N/mm ²
Biegerandspannung:	σ _{m,ap,d}	4.47 N/mm ²
Querkzugspannung:	σ _{t,90,d}	0.08 N/mm ²
Schubspannung:	τ _{ap,d}	0.94 N/mm ²



Zwischenresultate:	
A _{ap}	2.24E+05 mm ²
W _{y,x}	1.67E+07 mm ³
W _{y,ap}	2.61E+07 mm ³
k _{dis}	1.4
k _{vol}	0.58
η _w	0.8
k _{m,a Zug}	0.41
k _{m,a Druck}	0.78
k _h	1.01

Bemessung:					
Auslastung Biegung schräg zur Faserrichtung					
Biegedruck	σ _{m,x,a,d}	5.68 N/mm ²	48.6%	von η _w [*] f _{m,d} [*] k _{m,t,a} [*] k _h	11.69 N/mm ²
Auslastung Biegung parallel zur Faser					
	σ _{m,x,0,d}	5.97 N/mm ²	40.1%	von η _w [*] f _{m,d} [*] k _h	14.90 N/mm ²
Auslastung Biegung im Firstbereich					
	σ _{m,ap,d}	4.47 N/mm ²	29.8%	von η _w [*] f _{m,d} [*] k _h	15.01 N/mm ²
Auslastung Querkzug im Firstbereich					
	σ _{t,90,d}	0.08 N/mm ²	85.0%	von η _w [*] k _{dis} [*] k _{vol} [*] f _{t,90,d}	0.10 N/mm ²
Auslastung Schub im Firstbereich					
	τ _d	0.94 N/mm ²	65.1%	von η _w [*] f _{v,d}	1.44 N/mm ²
Überlagerung Querkzug und Schub im Firstbereich					150.1%

➔ Querkzugverstärkung nötig. Siehe nächste Seite

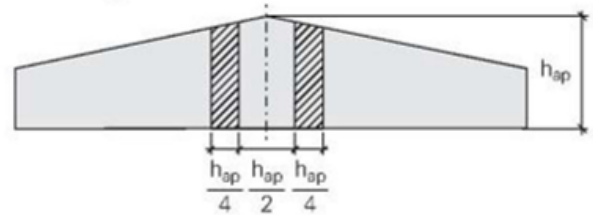
Nachweis Querkzugverstärkung

Festigkeitsnachweis Satteldachträger

nach SIA Kap. 5.1.3

Eingabe:

Festigkeitsklasse:	GL28h
Feuchteklasse:	2
Breite (b):	320 mm
Höhe (h_{ap}):	700 mm
Faseranschnittwinkel (α):	6.5
Belastung Biegung schräg zur Faser:	Biegedruck
Bemessungsmoment $M_{d,y}$:	95 kNm



Verstärkung

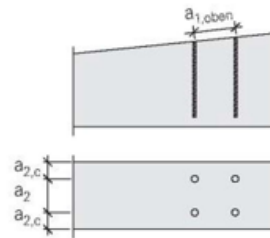
Schraubentyp	WR-T-13 x 500
l_{ef}	250 mm
Anzahl Schraubenreihen	2 Reihen
$R_{ax,d}$	27.76 kN
n_i	0.33 => 1 Stk.
n_{au}	0.22 => 1 Stk.
$h_{ap}/2$	350 mm
$h_{ap}/4$	175 mm
a_1 oben mitte	175 mm
a_1 oben aussen	175 mm

Mindestabstände

a_1 oben	250 mm
a_2	65 mm
$a_{2,c}$	52 mm

Zwischenresultate:

Radialspannungsspannung: $\sigma_{90,d}$:	0.08 N/mm ²
--	------------------------



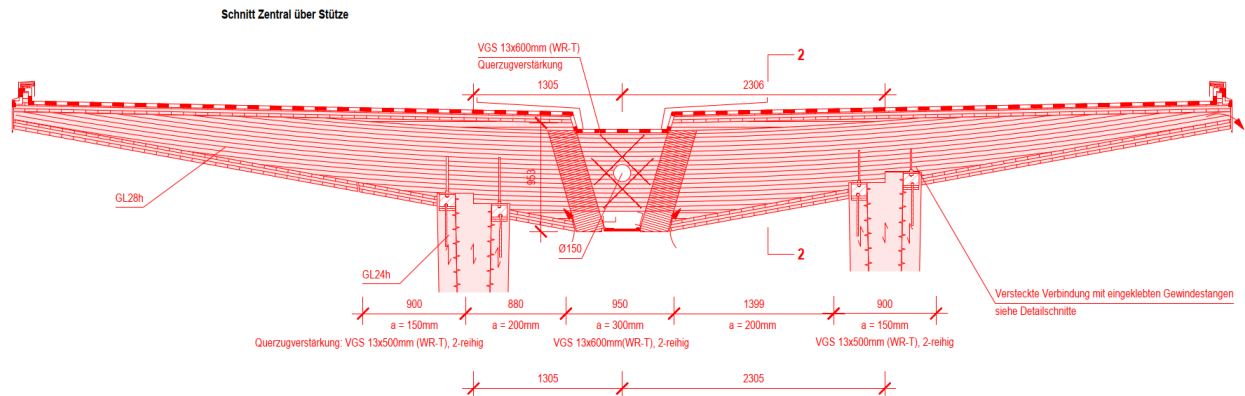
Gewählt: VGS 13x400-600 mm (WR-T) (Abhängig von Trägerhöhe)
2-reihig
Abstand: var. 150-300 mm (Abhängig von Belastung, vgl. Plan)

7.7 Querträger Doppelstütze asymmetrisch

Statisches System: Einfacher Balken mit beidseitiger Auskrägung.

Radius gebogener Teil: $R = 29 \text{ m}$

Faseranschnitt oben $\alpha = 5.2^\circ$ unten: $\alpha = 6.5^\circ$



Schnittkräfte pro Träger $b = 320 \text{ mm}$:

Trägermitte $M_{Ed} = 75.5 \text{ kNm}$
 $V_{Ed} = 127.4 \text{ kN}$

→ Symmetrische Situation massgebend.

Beim Auflager $M_{Ed} = 113.1 \text{ kNm}$
 $V_{Ed} = 145.0 \text{ kN}$

→ Nur der angeschnittene Bereich wird nochmals nachgewiesen:

Biege und Querkzugnachweis an Auflagern

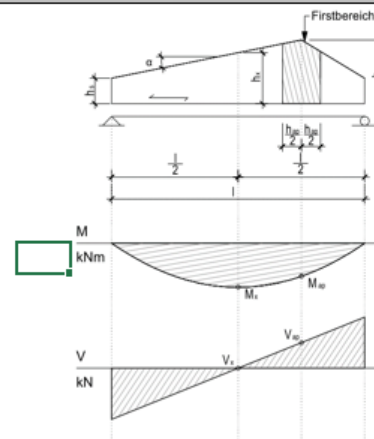
Biegefestigkeits- und Querkzugnachweis Satteldachträger

nach EC5

Eingabe:	
Festigkeitsklasse:	GL28h
Feuchteklasse:	Feuchteklasse 2
Breite (b)	320 mm
Höhe (h _x)	560 mm
Höhe (h _{ap})	700 mm
Faseranschnittwinkel (α)	5°
Belastung Biegung schräg zur Faser	Biegezug
Bemessungsmoment M _{x,d,y}	113 kNm
Bemessungsmoment M _{ap,d,y}	113 kNm
Querkraft V _{ap,d}	145 kN

Festigkeitswerte nach SIA 265:	
f _{v,d}	1.80 N/mm ²
f _{c,90,d}	2.00 N/mm ²
f _{t,90,d}	0.15 N/mm ²
f _{m,d}	18.50 N/mm ²

Bemessungswert Biegespannungen		
Biegerandspannung:	σ _{m,x,0,d}	6.96 N/mm ²
Biegerandspannung:	σ _{m,x,a,d}	6.76 N/mm ²
Biegerandspannung:	σ _{m,ap,d}	5.03 N/mm ²
Querkzugspannung:	σ _{t,90,d}	0.08 N/mm ²
Schubspannung:	τ _{ap,d}	0.97 N/mm ²



Zwischenresultate:	
A _{ap}	2.24E+05 mm ²
W _{y,x}	1.67E+07 mm ³
W _{y,ap}	2.61E+07 mm ³
k _{dis}	1.4
k _{vol}	0.58
η _w	0.8
k _{m,a Zug}	0.55
k _{m,a Druck}	0.86
k _h	1.01

Bemessung:						
Auslastung Biegung schräg zur Faserrichtung						
Biegezug	$\sigma_{m,x,a,d}$	6.76	N/mm ²	80.0%	von $\eta_W \cdot f_{m,d} \cdot k_{m,t,g} \cdot k_h$	8.17 N/mm ²
Auslastung Biegung parallel zur Faser	$\sigma_{m,x,0,d}$	6.96	N/mm ²	46.7%	von $\eta_W \cdot f_{m,d} \cdot k_h$	14.90 N/mm ²
Auslastung Biegung im Firstbereich	$\sigma_{m,ap,d}$	5.03	N/mm ²	33.5%	von $\eta_W \cdot f_{m,d} \cdot k_h$	15.01 N/mm ²
Auslastung Querkzug im Firstbereich	$\sigma_{t,90,d}$	0.08	N/mm ²	77.8%	von $\eta_W \cdot k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$	0.10 N/mm ²
Auslastung Schub im Firstbereich	τ_d	0.97	N/mm ²	67.4%	von $\eta_W \cdot f_{v,d}$	1.44 N/mm ²
Überlagerung Querkzug und Schub im Firstbereich						145.2%

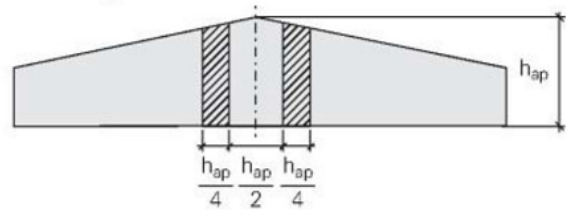
➔ Querkzugverstärkung erforderlich. Siehe nächste Seite.

Nachweis Querkzugverstärkung

Festigkeitsnachweis Satteldachträger

nach SIA Kap. 5.1.3

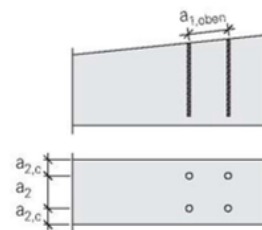
Eingabe:	
Festigkeitsklasse:	GL28h
Feuchteklasse:	2
Breite (b):	320 mm
Höhe (h_{ap}):	700 mm
Faseranschnittwinkel (α):	5
Belastung Biegung schräg zur Faser:	Biegezug
Bemessungsmoment $M_{d,y}$:	113 kNm



Verstärkung	
Schraubentyp	WR-T-13 x 500
l_{ef}	250 mm
Anzahl Schraubenreihen	2 Reihen
$R_{ax,d}$	27.76 kN
n_i	0.31 => 1 Stk.
n_{au}	0.20 => 1 Stk.
$h_{ap}/2$	350 mm
$h_{ap}/4$	175 mm
a_1 oben mitte	175 mm
a_1 oben aussen	175 mm

Mindestabstände	
a_1 oben	250 mm
a_2	65 mm
$a_{2,c}$	52 mm

Zwischenresultate:	
Radialspannungsspannung: $\sigma_{90,d}$:	0.08 N/mm ²



Gewählt: VGS 13x400-600 mm (WR-T) (Abhängig von Trägerhöhe)
2-reihig
Abstand: var. 150-300 mm (Abhängig von Belastung, vgl. Plan)

Nachweis des Durchbruchs (rund, $r = 75 \text{ mm}$) → Mit Schnittkräfte von symmetrischer Situation

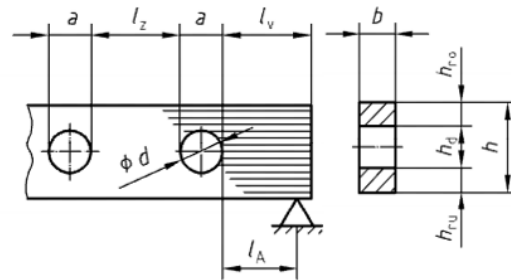
Trägerdurchbruch rund nach DIN 1052:2008-12, Kap. 11.3

Eingabe Konstruktion	
Breite Träger	320 mm
Höhe Träger	700 mm
Festigkeitsklasse	GL28h
Feuchteklasse	Feuchteklasse 2
l_v	1200 mm
a	150 mm
l_z	5000 mm
l_A	1200 mm
h_{ro}	275 mm
h_d	150 mm
h_{ru}	275 mm
r	75 mm

Eingabe Lasten bei Durchbruch	
V_d max bei Auflager	138.80 kN
V_d Durchbruch	125.10 kN
M_d Durchbruch	133.90 kNm

Resultierende Belastung	
$F_{t,Vd}$	13.97 kN
$F_{t,Md}$	3.60 kN
$F_{t,90d}$	17.57 kN

Werte nach SIA 265:	
$f_{t,90,d}$	0.15 N/mm ²
$f_{m,d}$	18.7 N/mm ²
$f_{v,d}$	1.80 N/mm ²
$f_{c0,d}$	18.70 N/mm ²
$f_{t0,d}$	14.90 N/mm ²
Feuchtebeiwert η_w	0.8



Zwischenresultate	
zu	350 mm
zo	350 mm
I_y bei Durchbruch Netto-QS	9.057E+09 mm ⁴
$I_{h_{ro}}$ (nur Nettoquerschnitt oben)	5.546E+08 mm ⁴
$I_{h_{ru}}$ (nur Nettoquerschnitt unten)	5.546E+08 mm ⁴
$W_{O,netto}$	2.59E+07 mm ³
$W_{U,netto}$	2.59E+07 mm ³
$W_{mi,hro}$ (in Mitte von hro)	4.26E+07 mm ³
$W_{mi,hru}$ (in Mitte von hru)	4.26E+07 mm ³
h_r	297.5 mm
$l_{t,90}$	403 mm
$k_{t,90}$	1

Durchbruch kreisförmig mit innenliegender Querkzugverst. DIN 1052:2008-12 Kap. 11.4.4

Nachweise geometrisch nach DIN (Durchbruch verstärkt)								
l_v	=	1200 mm	≥	h	=	700 mm	58%	Nachweis erfüllt
l_A	=	1200 mm	≥	$0.5 \times h$	=	350 mm	29%	Nachweis erfüllt
h_{ro}	=	275 mm	≥	$0.25 \times h$	=	175 mm	64%	Nachweis erfüllt
h_{ru}	=	275 mm	≥	$0.25 \times h$	=	175 mm	64%	Nachweis erfüllt
a	=	150 mm	≤	h	=	700 mm	21%	Nachweis erfüllt
h_d	=	150 mm	≤	$0.3 \times h$	=	210 mm	71%	Nachweis erfüllt
a/h_d	=	1.00	≤	2.5			40%	Nachweis erfüllt
l_z	=	5000 mm	≥	h (min. 300)	=	700 mm	14%	Nachweis erfüllt

Querkzugverstärkung nach DIN 1052					
Zugkraft $F_{t,90d}$					17.57 kN
Maximal mögliche Verankerungslänge oben $l_{ad,o, max}$					297.5 mm
Maximal mögliche Verankerungslänge unten $l_{ad,u, max}$					297.5 mm
Querkzugverstärkung:	Anzahl:	1	Verbindungsmittel:	WR-T-13 x 600	
mögliche Verankerungslänge vom Verbindungsmittel $l_{ad,eff}$					300 mm
wirksame Gewindelänge					240 mm
Auszugswiderstand $R_{d,90} \times \eta_w$					21.32 kN
Abstand zu Ausklinkung und 2 Verbindungsmittel:		65 mm	Randabstand:	39 mm	

Nachweis									
$F_{t,90,d}$	=	17.57 kN	≤	$R_{N,d} \times \eta_w$	=	21.32 kN	entspricht	82%	Nachweis erfüllt

Gewählt: 4x VGS 13x600mm (WR-T)

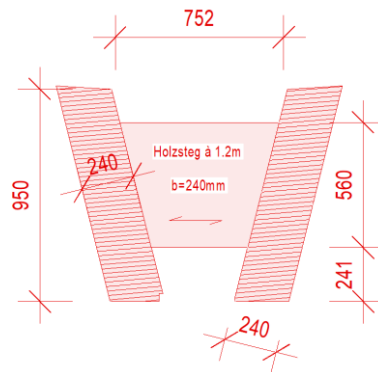
7.8 Längsträger

7.8.1 Zweifeldträger

Statisches System

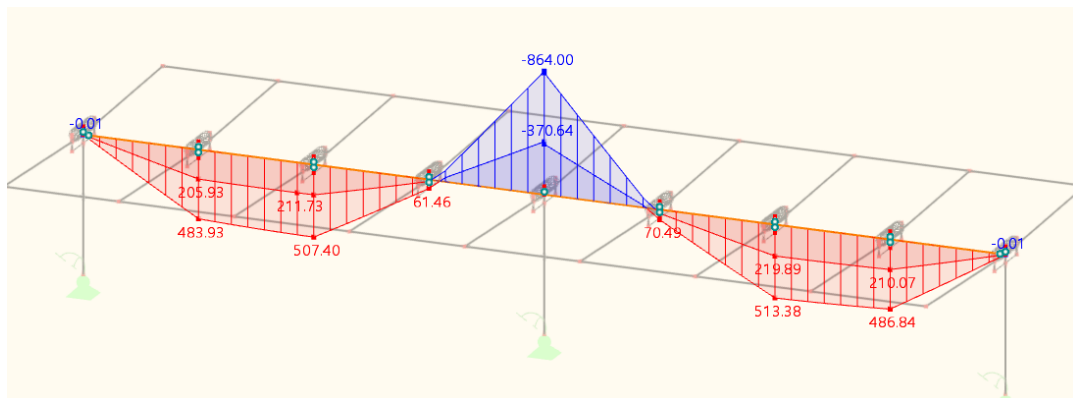
Durchlaufträger (2-Feld), 2x 240x950mm, GL28c, Feldlänge: 12.8 m

Die beiden gekoppelten Träger werden für die Bemessung als eigenständig tragende Bauteile betrachtet. Das heisst sowohl für die beiden Biegemomente M_y und M_z , wie auch für die Querkraft übernehmen beide Träger je die Hälfte der Beanspruchung. Das Torsionsmoment wird über den Hebelarm in eine Schubbeanspruchung umgewandelt und mit der Querkraft überlagert.

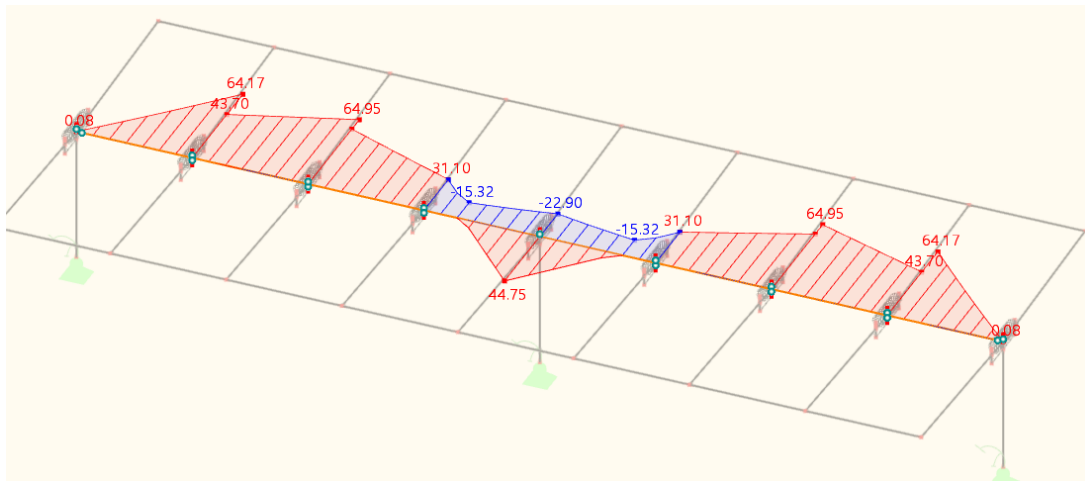


Umhüllende der Schnittkräfte aller GZT-Kombinationen

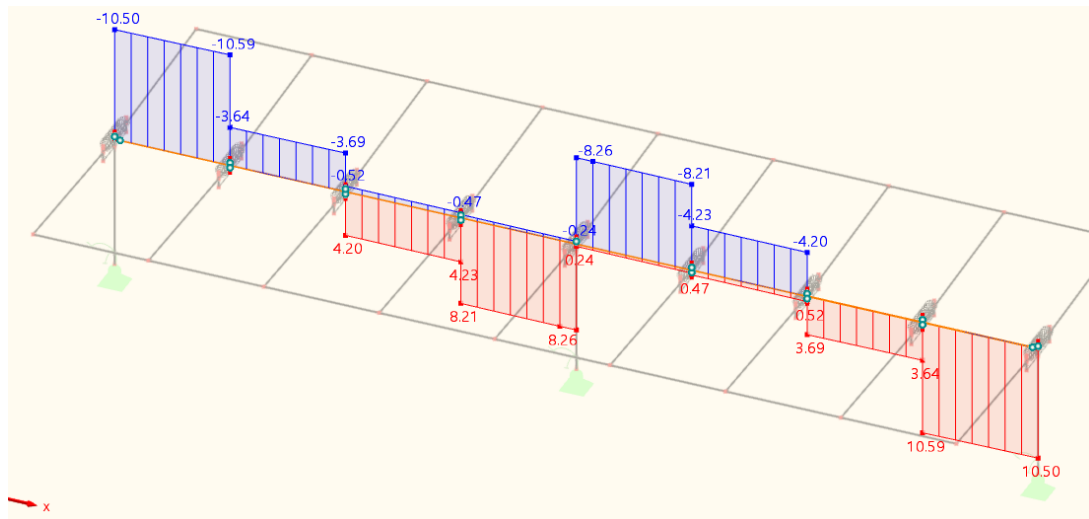
M_y :



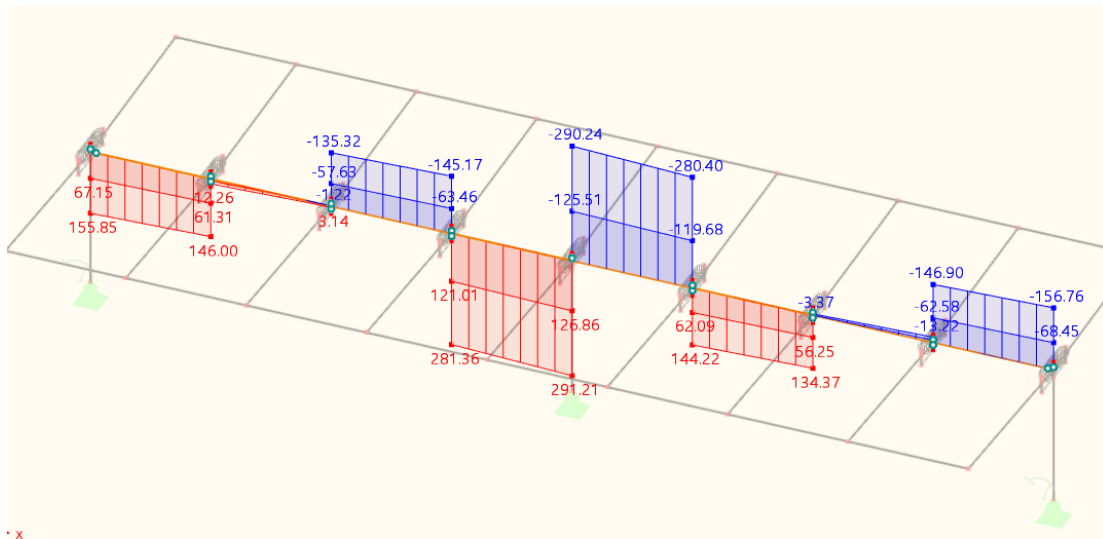
M_z :



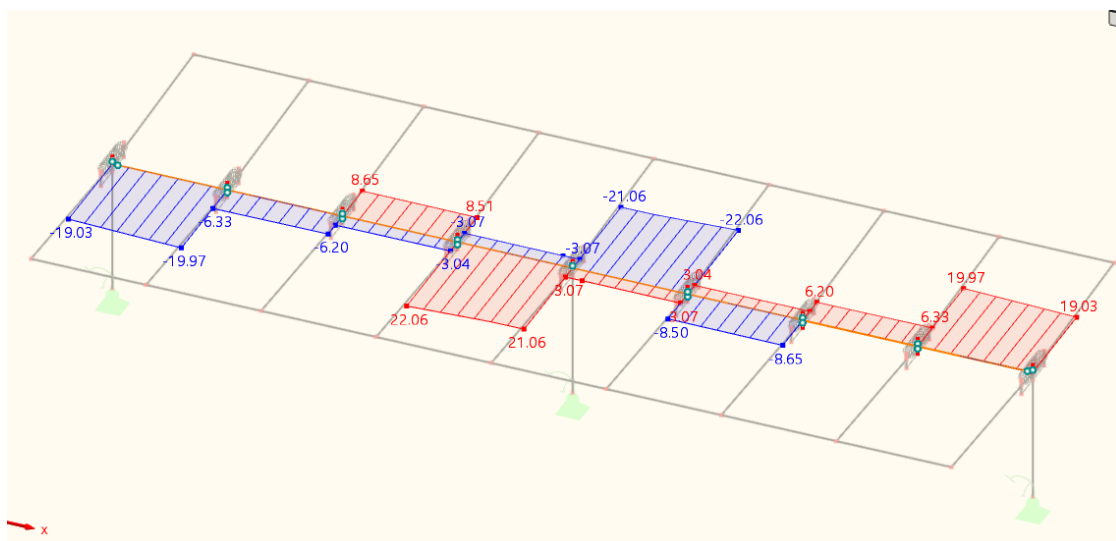
M_T :



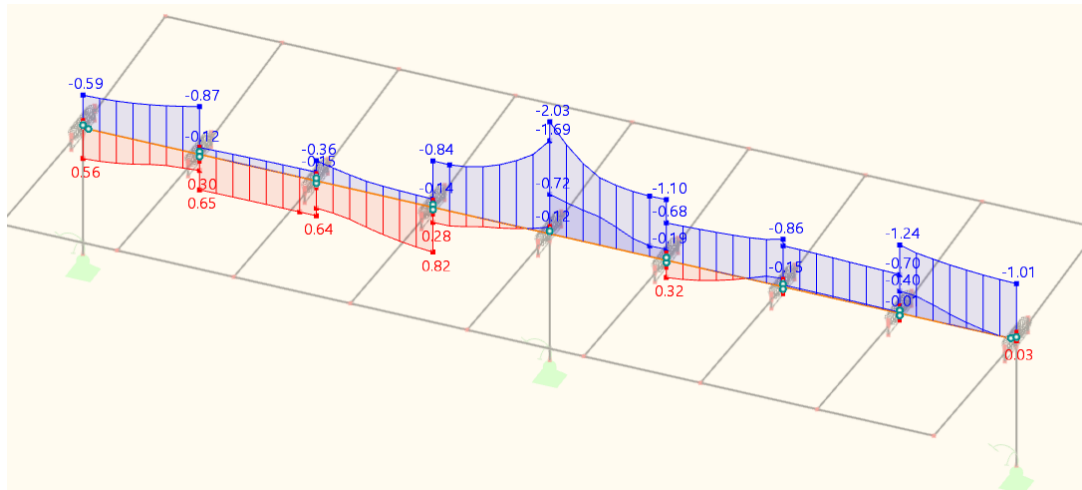
V_z :



V_y :



N:



Nachweise

Fallunterscheidung mit den Schnittkräften pro Trägerhälfte:

1. Maximales Moment M_y und gleichzeitig wirkendes Moment M_z (LK7)

$$M_{y,d} = 432 \text{ kNm} = \left(\frac{864}{2} \text{ kNm} \right)$$

$$M_{z,d} = 6 \text{ kNm} = \left(\frac{11}{2} \text{ kNm} \right)$$

Eingabe:	
Breite (y):	240 mm
Höhe (z):	950 mm
Länge (x):	12800 mm
Feuchteklasse	Feuchteklasse 2
Normalkraft Nd:	0.00 kN
Bemessungsmoment $M_{d,y}$:	432.00 kNm
Bemessungsmoment $M_{d,z}$:	6.00 kNm
Festigkeitsklasse:	GL28k

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left[\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right]^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Werte nach SIA 265:	
$f_{c,0,d}$	16.0 N/mm ²
$f_{t,0,d}$	13.0 N/mm ²
$f_{m,d}$	18.7 N/mm ²

Spannungen	
Zugspannung $\sigma_{t,0,d}$	0.00 N/mm ²
Biegerandspannung $\sigma_{m,y,d}$:	11.97 N/mm ²
Biegerandspannung $\sigma_{m,z,d}$:	0.66 N/mm ²

Zwischenresultate:	
A	228000 mm ²
W_y	3.61E+07 mm ³
W_z	9.12E+06 mm ³
k_h	1.00
$k_{c,0}$	1.00
$k_{h,t}$ und/oder k_i	1.00
$\eta_{W, \text{Festigkeit}}$	0.8

Bemessungsspannungen			
Normalkraft = $f_{t,0,d} \cdot k_{h,t} \cdot \eta_W$	10.40 N/mm ²	0.00 %	
Biegung starke Richtung (y) = $k_h \cdot f_{m,d} \cdot \eta_W$	14.96 N/mm ²	79.99 %	
Biegung schwache Richtung (z) = $f_{m,d} \cdot \eta_W$	14.96 N/mm ²	4.40 %	

Bemessung:		
Auslastung Festigkeit: Normalkraft mit Biegung in beiden Richtungen		
	84.39 %	Erfüllt

2. Maximales Moment M_z und gleichzeitig wirkendes Moment M_y (LK15)

$$M_{y,d} = 377 \text{ kNm} = \left(\frac{754}{2} \text{ kNm} \right)$$

$$M_{z,d} = 21 \text{ kNm} = \left(\frac{42}{2} \text{ kNm} \right)$$

Eingabe:	
Breite (y):	240 mm
Höhe (z):	950 mm
Länge (x):	12800 mm
Feuchteklasse	Feuchteklasse 2
Normalkraft Nd:	0.00 kN
Bemessungsmoment $M_{d,y}$:	377.00 kNm
Bemessungsmoment $M_{d,z}$:	21.00 kNm
Festigkeitsklasse:	GL28k



$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left[\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right]^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Werte nach SIA 265:	
$f_{c,0,d}$	16.0 N/mm ²
$f_{t,0,d}$	13.0 N/mm ²
$f_{m,d}$	18.7 N/mm ²

Spannungen	
Zugspannung $\sigma_{t,0,d}$	0.00 N/mm ²
Biegerandspannung $\sigma_{m,y,d}$:	10.44 N/mm ²
Biegerandspannung $\sigma_{m,z,d}$:	2.30 N/mm ²

Zwischenresultate:	
A	228000 mm ²
W_y	3.61E+07 mm ³
W_z	9.12E+06 mm ³
k_h	1.00
$k_{c,0}$	1.00
$k_{h,t}$ und/oder k_l	1.00
$\eta_{W,Festigkeit}$	0.8

Bemessungsspannungen			
Normalkraft = $f_{t,0,d} \cdot k_{h,t} \cdot \eta_W$	10.40 N/mm ²	0.00 %	
Biegung starke Richtung (y) = $k_h \cdot f_{m,d} \cdot \eta_W$	14.96 N/mm ²	69.81 %	
Biegung schwache Richtung (z) = $f_{m,d} \cdot \eta_W$	14.96 N/mm ²	15.39 %	

Bemessung:		
Auslastung Festigkeit: Normalkraft mit Biegung in beiden Richtungen		
85.20 %	Erfüllt	

3. Maximale Querkraft V und maximal wirkendes Torsionsmoment M_T

$$V_{z,d} = 145 \text{ kN} \left(\frac{290}{2} \text{ kN} \right)$$

$$M_{T,d} = 11 \text{ kNm} \rightarrow V_{T,d} = \frac{11 \text{ kNm}}{0.794 \text{ m}} = 14 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1.5 \times \frac{145 \text{ kN} + 14 \text{ kN}}{950 \text{ mm} \times 240 \text{ mm}} = 1.05 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < f_{V,d} = 1.44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

i. O.

Schubbeanspruchung auf Querschott durch Torsionsmoment

$$V_{Ed} = \frac{M_{T,d}}{a} = \frac{11 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}}{0.794 \text{ m}} \approx 14 \text{ kN/m}$$

Kraft pro Fuge (Abstand Schott: 1.2 m)

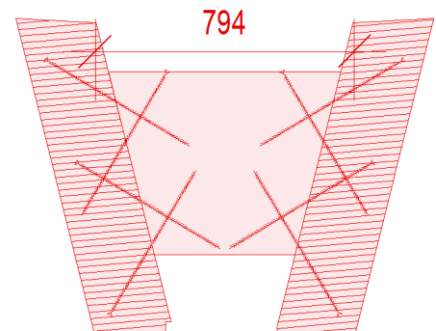
$$F_{Ed} = 14 \text{ kN/m} \cdot 1.2 \text{ m} = \pm 16 \text{ kN}$$

Gewählt:

VGS 9x500 (Heco WR) mit effektiver Gewindelänge = 250 mm
2x45° pro Seite und Richtung:

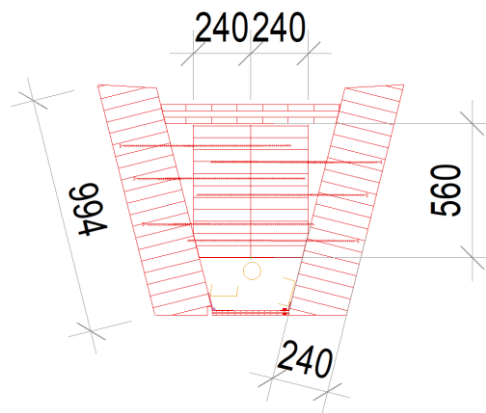
$$F_{Rd} = 2 \cdot 13.6 \text{ kN} \cdot 0.8 = 21.8 \text{ kN} > 16.6 \text{ kN} = F_{Ed}$$

i. O.



7.8.2 Längsträger Einfeldträger

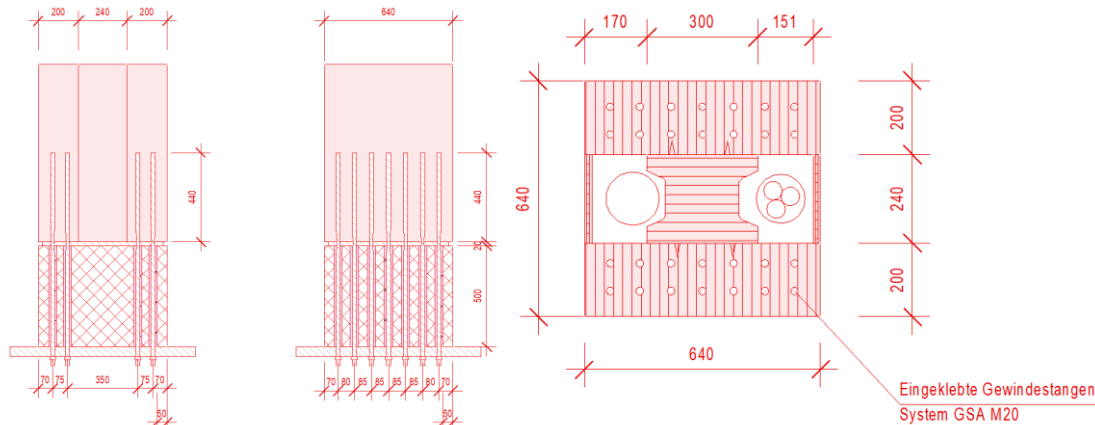
Im Bereich zweier aufeinander folgender Doppelstützen kann kein Zweifeldträger eingebaut werden. An dieser Stelle wird ein verstärkter Einfeldträger verwendet, um die Verformungen entsprechend dem Zweifeldträger zu begrenzen. Die Tragfähigkeitsnachweise sind gemäss dem Zweifeldträger:



8 Bemessung GZT Details

8.1 Einspannung Stützenfuss

Verankerung in Beton mittels eingeklebten Gewindestangen. Betonfundament vorgefertigt an Holzstütze befestigt. Durch Vorfertigung ist der Kontakt Stirnholz Beton gegeben. Die Gewindestangen werden durch das vorgefertigte Betonelement in Hüllrohren gesteckt und nachträglich ausgemörtelt. Dadurch ist die Übertragung der Querkraft gewährleistet, während dem die vertikale Druckkraft von der Holzstütze in den Betonsockel geleitet wird und die vertikale Zugkomponente unten an der Stahlplatte verankert wird.



8.1.1 Quer zum Gleis

Einzelstütze mit Fahrleitungsmast

Hebelarm $a = 0.43 \text{ m}$ (Abstand Schwerpunkt Gewindestangen – Schwerpunkt Flansch)

Fallunterscheidung:

1. Grösstes Moment (LK19)
 $M_{Ed} = 383 \text{ kNm}, N_{Ed} = 653 \text{ kN}$
2. Grösste Normalkraft (LK6)
 $N_{Ed} = 762 \text{ kN}, M_{Ed} = 171 \text{ kNm}$
3. Grosses Moment, kleine Normalkraft (LK55)
 $M_{Ed} = 300 \text{ kNm}, N_{Ed} = 343 \text{ kN}$

Fall 1

Einwirkungen

Zuglasten auf Gewindestange:

$$F_{GSA,Ed} = \frac{383 \text{ kNm}}{a} - \frac{653}{2} \text{ kN} = 564 \text{ kN}$$

Drucklasten auf Holz:

$$F_{N,Ed} = -\frac{383 \text{ kNm}}{a} - \frac{653}{2} \text{ kN} = -1218 \text{ kN}$$

Nachweise - Gewindestange M20, FK2

GSA

BSH aus Nadelholz nach EN 14080: parallel zur Faser (Faserwinkel 0 - 29,9°)

d	l _b	l _{eb}	a ₂	a _{2,c}	R _{ak}	R _{ak,d}	Leistung
M	mm	mm	mm	mm	FK 1	FK 1	f _{ak,d}
20	350	80	75	40	105 kN	70 kN	12,0 N/mm²
16	290	65	60	35	75 kN	50 kN	12,0 N/mm²
12	200	50	45	25	40 kN	25 kN	11,5 N/mm²

Die Angaben in diesem Dokument haben nur Gültigkeit, wenn sämtliche Komponenten dem Standard von GSA entsprechen. Die Lizenznehmer der GSA Technology AG betreiben die dafür zugehörige Qualitätssicherung.

Axialwiderstand:

$$R_{ax,d} = \frac{0,8 \cdot 105 \text{ kN}}{1,5} = 56 \text{ kN} \rightarrow n_{erf} = \frac{564 \text{ kN}}{56 \text{ kN}} = 11 \text{ Stk.} < 14 \text{ Stk.} = n_{vorh}$$

i. O.

Querkraftwiderstand:

$$V_{Rd} = \frac{28 \cdot 300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3}} \cdot \pi \cdot (8 \text{ mm})^2 = 975 \text{ kN} \gg 92 \text{ kN} = V_{Ed}$$

i. O.

Nachweise – Holz

Normalspannung:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{N,Ed}}{b \cdot h} = \frac{1218 \text{ kN}}{200 \text{ mm} \cdot 640 \text{ mm}} = 9,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 12,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = f_{c,0,d}$$

i. O.

Querkraftwiderstand:

$$V_{Rd} = 28 \cdot 15,35 \text{ kN} \cdot 0,8 = 344 \text{ kN} < 92 \text{ kN} = V_{Ed}$$

i. O.

Fall 2

Einwirkungen

Zuglasten auf Gewindestange:

$$F_{GSA,Ed} = \frac{171 \text{ kNm}}{a} - \frac{381}{2} \text{ kN} = 17 \text{ kN}$$

→ Fall 1 massgebend

Drucklasten auf Holz:

$$F_{N,Ed} = -\frac{171 \text{ kNm}}{a} - \frac{381}{2} \text{ kN} = -779 \text{ kN}$$

Fall 3

Einwirkungen

Zuglasten auf Gewindestange:

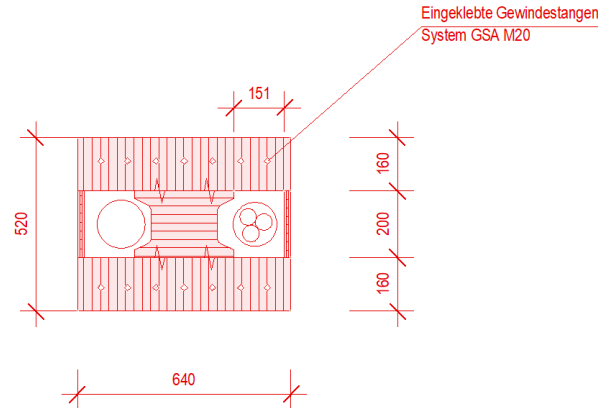
$$F_{GSA,Ed} = \frac{300 \text{ kNm}}{a} - \frac{343}{2} \text{ kN} = 526 \text{ kN}$$

→ Fall 1 massgebend

Drucklasten auf Holz:

$$F_{N,Ed} = -\frac{300 \text{ kNm}}{a} - \frac{343}{2} \text{ kN} = -784 \text{ kN}$$

Doppelstützen mit Fahrleitungsmast



Hebelarm $a = 0.37 \text{ m}$ (Abstand Schwerpunkt Gewindestangen – Schwerpunkt Flansch)

Fallunterscheidung:

1. Grösstes Moment (LK19)
 $M_{Ed} = 175 \text{ kNm}, N_{Ed} = 238 \text{ kN}$
2. Grosses Moment, kleine Normalkraft (LK53)
 $M_{Ed} = 166 \text{ kNm}, N_{Ed} = 146 \text{ kN}$

Fall 1

Einwirkungen

Zuglasten auf Gewindestange:

$$F_{GSA,Ed} = \frac{175 \text{ kNm}}{a} - \frac{238}{2} \text{ kN} = 354 \text{ kN}$$

Drucklasten auf Holz:

$$F_{N,Ed} = -\frac{175 \text{ kNm}}{a} - \frac{238}{2} \text{ kN} = -592 \text{ kN}$$

Nachweise – Gewindestange M20, FK2

Axialwiderstand:

$$R_{ax,d} = \frac{0.8 \cdot 105 \text{ kN}}{1.5} = 56 \text{ kN} \rightarrow n_{erf} = \frac{354 \text{ kN}}{56 \text{ kN}} = 6.3 \text{ Stk.} < 7 \text{ Stk.} = n_{vorh} \quad i. O.$$

Nachweise – Holz

Normalspannung:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{N,Ed}}{b \cdot h} = \frac{592 \text{ kN}}{160 \text{ mm} \cdot 640 \text{ mm}} = 5.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 12.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = f_{c,0,d} \quad i. O.$$

Fall 2

Einwirkungen

Zuglasten auf Gewindestange:

$$F_{GSA,Ed} = \frac{166 \text{ kNm}}{a} - \frac{146}{2} \text{ kN} = 376 \text{ kN}$$

Nachweise – Gewindestange M20, FK2

Axialwiderstand:

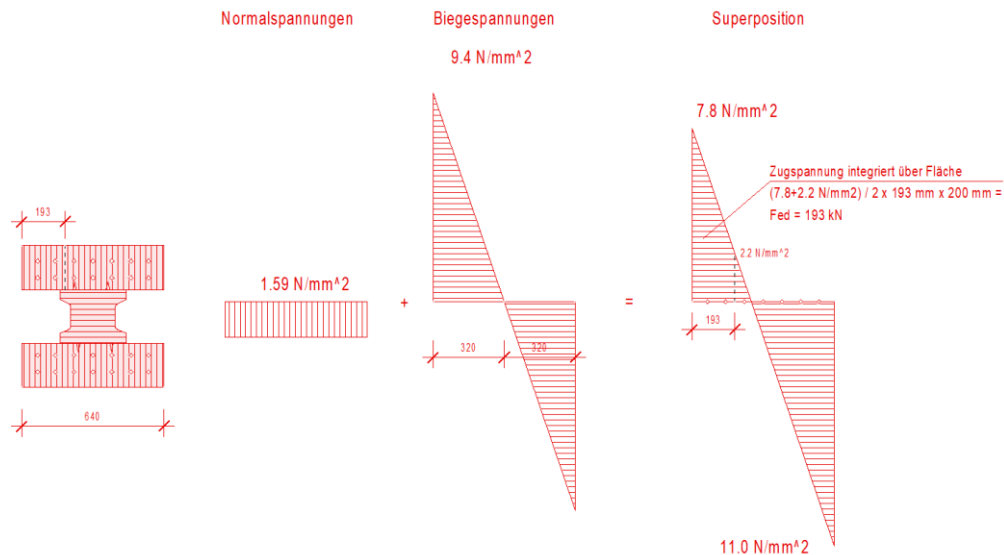
$$R_{ax,d} = \frac{0.8 \cdot 105 \text{ kN}}{1.5} = 56 \text{ kN} \rightarrow n_{erf} = \frac{376 \text{ kN}}{56 \text{ kN}} = 6.7 \text{ Stk.} < 7 \text{ Stk.} = n_{vorh} \quad i. O.$$

8.1.2 Parallel zum Gleis

Einzelstütze

Einwirkungen

$M_{Ed} = 257 \text{ kNm}$, $N_{Ed} = 407.5 \text{ kN}$ (Ständig wirkende Lasten, Erdbeben massgebend).



Nachweise:

Zugkraft durch Integration der Spannung auf die beiden äussersten, nebeneinander liegenden Gewindestangen berechnet ($n = 4$). $\rightarrow F_{Ed} = 193 \text{ kN}$

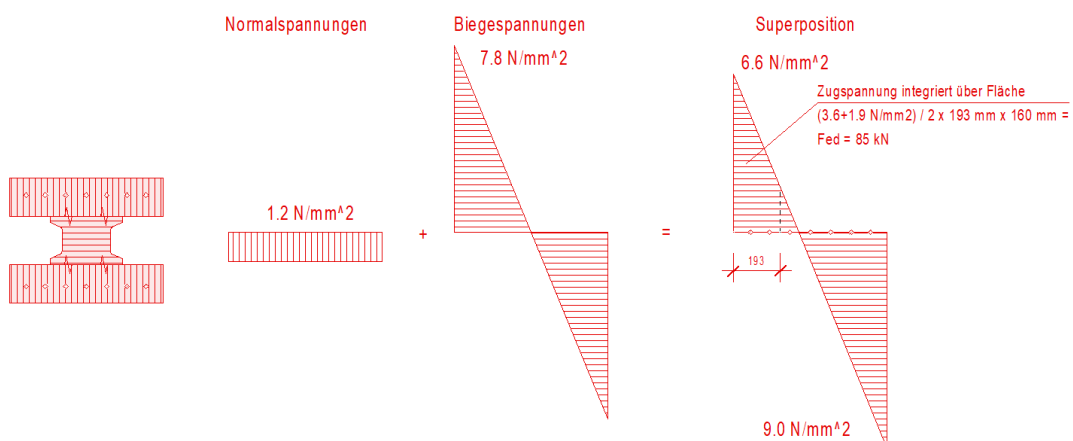
$$R_{ax,d} = \frac{4 \cdot 0.8 \cdot 105 \text{ kN}}{1.5} = 224 \text{ kN} > 193 \text{ kN} = F_{Ed}$$

i. O.

Doppelstütze

Einwirkungen

$M_{Ed} = 170 \text{ kNm}$, $N_{Ed} = 124 \text{ kN}$ (Strändig wirkende Lasten, Erdbeben massgebend).



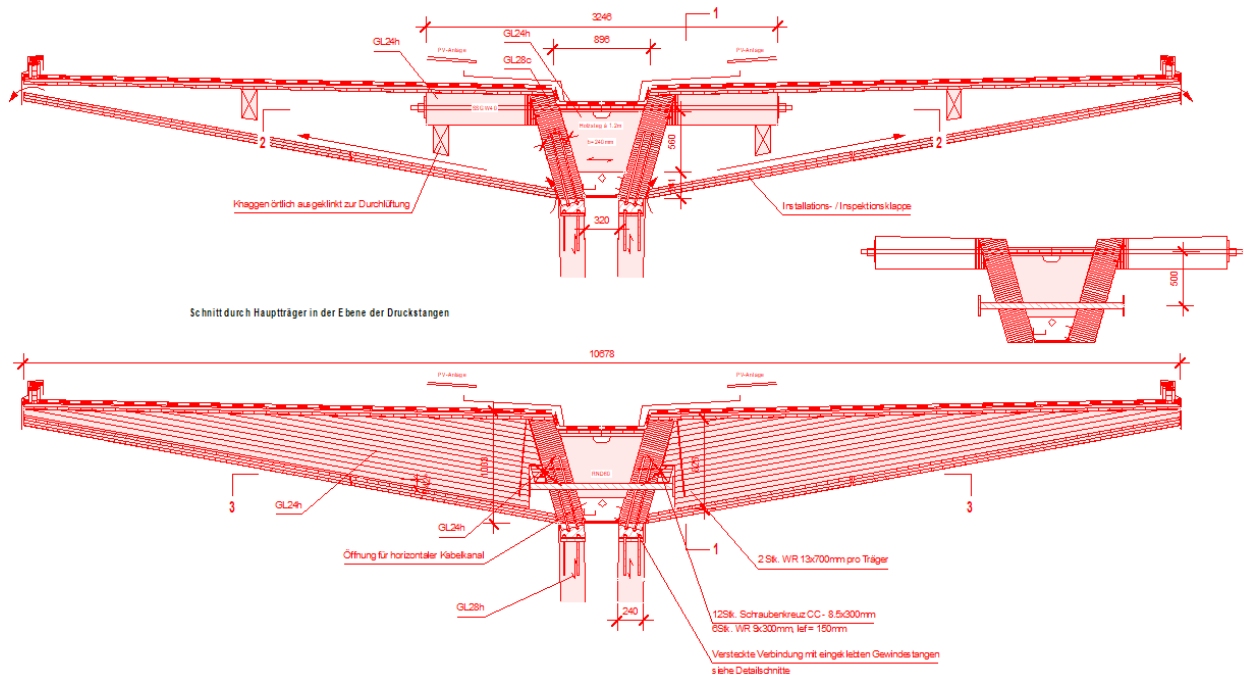
Nachweise:

Zugkraft durch Integration der Spannung auf die beiden äussersten, nebeneinander liegenden Gewindestangen berechnet ($n = 2$). $\rightarrow F_{Ed} = 85 \text{ kN}$

$$R_{ax,d} = \frac{2 \cdot 0.8 \cdot 105 \text{ kN}}{1.5} = 112 \text{ kN} > 85 \text{ kN} = F_{Ed}$$

i. O.

8.2 Situation Einzelstütze



8.2.1 Aufnahme Moment mit RND und SSGW

Einwirkungen

Max. Normalkraft:

$$N_{Ed,max,tot} = \pm 467.1 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed,max,Verb} = 233.6 \text{ kN pro Träger}$$

Vorspannkraft SSGW:

$$P_{max} = N_{Ed,Druckstab,min} = \frac{165.6}{2} = 82.8 \text{ kN}$$

$$N_{0.8-EL} = 0.8 \cdot \frac{142}{2} = 57 \text{ kN}$$

→ Festgelegte Vorspannkraft: $P = 57 \text{ kN}$

Nachweise SSGW40

Normalkraftwiderstand:

$$N_{Ed,SSGW} = P + N_{Ed,max,Verb} = 291 \text{ kN} < 599 \text{ kN} = N_{Rd} \quad i. O.$$

Längsdruck auf Holz:

$$\sigma_{c,0,d} = 8.1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 12.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = f_{c,0,d} \cdot \eta_w \quad i. O.$$

Krafteinleitung -> Stahlplatte 180x200mm

Nachweise RND60

Normalkraftwiderstand:

$$N_{Ed,RND60} = N_{Ed,max,Verb} = -233.6 \text{ kN} < 427 \text{ kN} = N_{Rd} (L_k = 1.0 \text{ m}) \quad i. O.$$

Längsdruck auf Holz:

$$\sigma_{c,0,d} = 6.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 12.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = f_{c,0,d} \cdot \eta_w \quad i. O.$$

Krafteinleitung -> Stahlplatte 180x200mm

Schubspannung:

$$\tau_d = 1.5 \cdot \frac{34 \text{ kN}}{180 \cdot 417 \text{ mm}} = 0.68 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 1.44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = f_{v,d} \cdot \eta_w \quad i. O.$$

Querdruck:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{34 \text{ kN}}{180 \cdot 120 \text{ mm}} = 1.57 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 1.52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = f_{c,90,d} \quad i. O.$$

Anhängelatte

Einwirkungen

Querkraft: $V_{Ed} = 68 \text{ kN}$

Moment aus Exzentrizität: $M_{Ed,e} = V_{Ed} \cdot e = 68 \text{ kN} \cdot 60 \text{ mm} = 4.1 \text{ kNm}$

Zugkraft aus Länge der Anhängelatte: $F_t = \frac{M_{Ed,e}}{0.1 \text{ m}} = 41 \text{ kN}$

Gewählt: 6x VGS 9x300mm (WR-T) mit $l_{ef} = 150 \text{ mm}$ (WR-T) $\rightarrow F_{Rd} = 11.56 \text{ kN} \cdot \eta_w = 9.2 \text{ kN}$
12x DGS 8.5x300mm (CC) $\rightarrow F_{Rd,CC} = 9.46 \text{ kN} \cdot \eta_w = 7.6 \text{ kN}$

Nachweise

Querkraftwiderstand:

$$F_{Rd,Verb,CC} = 12^{0.9} \cdot 7.6 \text{ kN} = 71.1 \text{ kN} > 68 \text{ kN} = V_{Ed} \quad i. O.$$

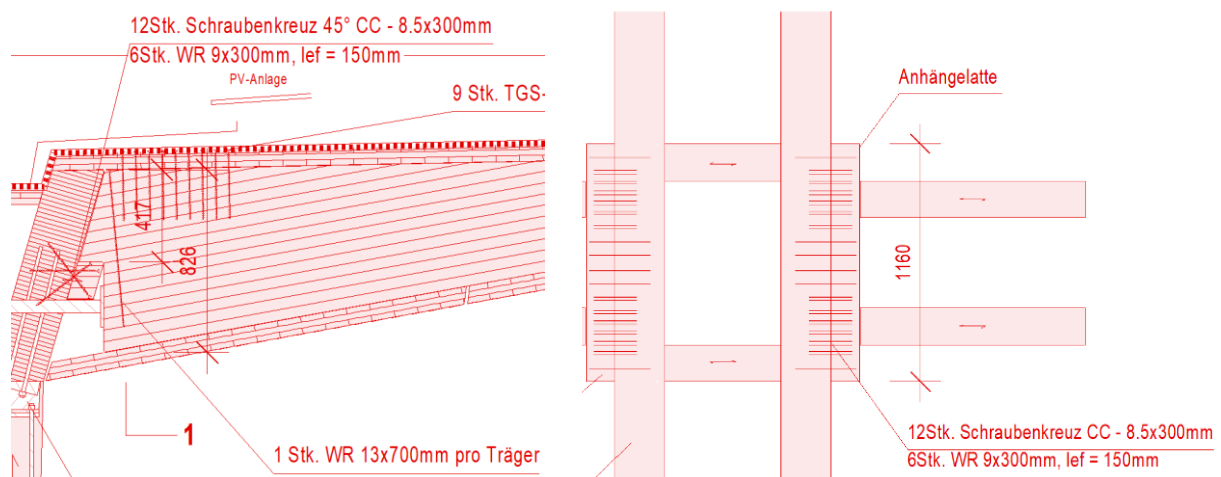
Zugkraftwiderstand:

$$F_{Rd,Verb,WR-T} = 6^{0.9} \cdot 9.2 \text{ kN} = 46 \text{ kN} > 41 \text{ kN} = F_t \quad i. O.$$

Abstände:

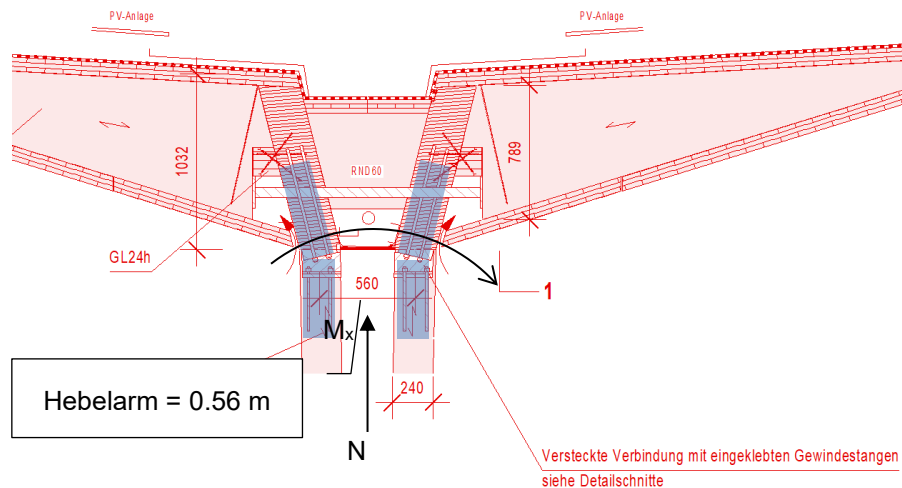
Schraube – Schraube: 40 mm (CC), 65 mm (WR)

Randabstand: 32 mm



8.3 Längsträger

8.3.1 Anschluss Längsträger – Einzelstütze



Mittelaufleger

Einwirkungen:

Fallunterscheidung:

1. Maximale Normalkraft (LK6)
 $M_{Ed} = 57 \text{ kNm}, N_{Ed} = 754 \text{ kN}$
2. Maximales Moment (LK19)
 $M_{Ed} = 133 \text{ kNm}, N_{Ed} = 645 \text{ kN}$
3. Abhebende Zugkraft (LK42)
 $M_{Ed} = 152 \text{ kNm}, N_{Ed} = -485 \text{ kN}$

Maximale Querkraft: $V_{Ed} = 68 \text{ kN}$

Massgebende Einwirkung:

Fall 1: $N_{Ed,max,1} = \frac{N_{Ed}}{2} \pm \frac{M_{Ed}}{a} = -377 \text{ kN} \pm 102 \text{ kN} = -479 \text{ kN} / -275 \text{ kN pro Stützhälfte}$
 Fall 2: $N_{Ed,max,2} = \frac{N_{Ed}}{2} \pm \frac{M_{Ed}}{a} = -322 \text{ kN} \pm 238 \text{ kN} = -560 \text{ kN} / -85 \text{ kN pro Stützhälfte}$
 Fall 3: $N_{Ed,max,3} = \frac{N_{Ed}}{2} \pm \frac{M_{Ed}}{a} = -242 \text{ kN} \pm 271 \text{ kN} = -513 \text{ kN} / +29 \text{ kN pro Stützhälfte}$
 → Massgebend: $N_{c,max} = -560 \text{ kN}, N_{t,max} = +29 \text{ kN}$

Nachweise - Längsträger

Querdruckverstärkung:

Gewählt: Stahlplatten 210x800, je Stützhälfte
 Heco WB-16, $l_{ef} = 600 \text{ mm} \rightarrow$

$$F_{Rd,c} = 49.82 \cdot 0.8 = 39.9 \text{ kN}$$

(HECO Bemessungshandbuch 4.6.2)

Querdruck Holz:

$$R_{c,d,90} = k_{c,90} \cdot 210 \text{ mm} \cdot 800 \text{ mm} \cdot 2.0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \eta_w = 403 \text{ kN pro Stützhälfte}$$

mit $k_{c,90} = 1.5, \eta_w = 0.8$

Erforderliche WB-16:

$$n_{erf} = \frac{560 \text{ kN} - 403 \text{ kN}}{39.9 \text{ kN}} \approx 4 \text{ Stk.} < 6 \text{ Stk.} = n_{vorh}$$

i. O.

Schraubenspitzen:

$$\frac{N_{c,max}}{B \cdot l_{ef,2} \cdot f_{c,d,90}} = \frac{560 \text{ kN}}{210 \cdot (800 \text{ mm} + 2 \cdot 600 \text{ mm}) \cdot 0.8 \cdot 2.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0.67 < 1.0 \quad i. O.$$

Querkraftwiderstand Heco WB-16:

$$V_{Rd,Verb} = 6 \cdot 8.6 \text{ kN} = 52 \text{ kN} > 34 \text{ kN} = \frac{V_{Ed}}{2} \quad i. O.$$

Bei abhebender Zugkraft (Fall 3):

Zugwiderstand WB-16:

$$R_{d,Verb} = 6^{0.9} \cdot 46.2 \text{ kN} = 232 \text{ kN} > 29 \text{ kN} = N_{t,max} \quad i. O.$$

Nachweise – Stütze

Normalspannung in Stütze:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,max}}{b \cdot h} = \frac{560 \text{ kN}}{200 \text{ mm} \cdot 640 \text{ mm}} = 4.4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 12.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = f_{c,0,d} \quad i. O.$$

Bei abhebender Zugkraft (Fall 3):

Erforderliche GSA M16:

$$n_{erf} = \frac{29 \text{ kN}}{40 \text{ kN}} \approx 1 \text{ Stk.} \rightarrow \text{Vorhanden 8 Stk.} \quad i. O.$$

Querkraftwiderstand:

Gewählt: 8 x GSA M16 pro Stützenhälfte

$$V_{Rd,GSA} = 5 \cdot \frac{300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3}} \cdot \pi \cdot (6 \text{ mm})^2 = 157 \text{ kN} > 34 \text{ kN} \quad i. O.$$

$$V_{Rd,Holz} = 5 \cdot 10.77 \text{ kN} \cdot 0.8 = 69 \text{ kN} > 34 \text{ kN} \quad i. O.$$

Endauflager

Einwirkungen

Fallunterscheidung:

1. Maximale Normalkraft (LK6)
 $M_{Ed} = 55 \text{ kNm}, N_{Ed} = 237 \text{ kN}$
2. Maximales Moment (LK19)
 $M_{Ed} = 147 \text{ kNm}, N_{Ed} = 202 \text{ kN}$
3. Abhebende Zugkraft (LK39)
 $M_{Ed} = 96 \text{ kNm}, N_{Ed} = -150 \text{ kN}$

Maximale Querkraft: $V_{Ed} = 28 \text{ kN}$

Massgebende Einwirkung:

Fall 1: $N_{Ed,max,1} = \frac{N_{Ed}}{2} \pm \frac{M_{Ed}}{a} = -119 \text{ kN} \pm 98 \text{ kN} = -217 \text{ kN} / -21 \text{ kN pro Stützenviertel}$

Fall 2: $N_{Ed,max,2} = \frac{N_{Ed}}{2} \pm \frac{M_{Ed}}{a} = -101 \text{ kN} \pm 263 \text{ kN} = -364 \text{ kN} / +162 \text{ kN pro Stützenviertel}$

Fall 3: $N_{Ed,max,3} = \frac{N_{Ed}}{2} \pm \frac{M_{Ed}}{a} = -75 \text{ kN} \pm 172 \text{ kN} = -247 \text{ kN} / +97 \text{ kN pro Stützenviertel}$

➔ Massgebend: $N_{c,max} = -364 \text{ kN}, N_{t,max} = +162 \text{ kN}$

Nachweise - Längsträger

Querdruckverstärkung:

Gewählt: Stahlplatten 225x390, je Stützenviertel
Heco WB-16, $l_{ef} = 600 \text{ mm} \rightarrow F_{Rd,c} = 49.82 \cdot 0.8 = 39.9 \text{ kN}$

Querdruck Holz:

$R_{c,d,90} = k_{c,90} \cdot 225 \text{ mm} \cdot 390 \text{ mm} \cdot 2.0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \eta_w = 210 \text{ kN pro Stützenviertel}$
mit $k_{c,90} = 1.5, \eta_w = 0.8$

Erforderliche Heco WB-16:

$n_{erf} = \frac{364 - 210 \text{ kN}}{39.9 \text{ kN}} \approx 3.9 \text{ Stk.} < 5 \text{ Stk.} = n_{vorh} \quad i. O.$

Schraubenspitzen:

$\frac{N_{c,max}}{B \cdot l_{ef,2} \cdot f_{c,d,90}} = \frac{364 \text{ kN}}{240 \cdot (390 \text{ mm} + 2 \cdot 600 \text{ mm}) \cdot 0.8 \cdot 2.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0.48 < 1.0 \quad i. O.$

Querkraftwiderstand Heco WB-16:

$V_{Rd,Verb} = 5 \cdot 8.6 \text{ kN} = 43 \text{ kN} > 28 \text{ kN} = V_{Ed} \quad i. O.$

Bei abhebender Zugkraft (Fall 3):

Zugwiderstand Heco WB-16:

$R_{d,Verb} = 5^{0.9} \cdot 46.2 \text{ kN} = 197 \text{ kN} > 162 \text{ kN} = N_{t,max} \quad i. O.$

Nachweise – Stütze

Normalspannung in Stütze:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,max}}{b \cdot h} = \frac{560 \text{ kN}}{210 \text{ mm} \cdot 720 \text{ mm}} = 4.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 12.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = f_{c,0,d} \quad i. O.$$

Bei abhebender Zugkraft (Fall 3):

Erforderliche GSA M16:

$$n_{erf} = \frac{162 \text{ kN}}{40 \text{ kN}} \approx 4 \text{ Stk.} \rightarrow \text{Vorhanden 8 Stk.} \quad i. O.$$

Querkraftwiderstand GSA M16:

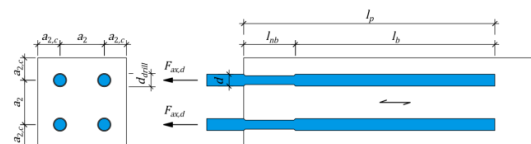
Gewählt: 8 GSA pro Stützhälfte

$$V_{Rd,GSA} = 8 \cdot \frac{300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3}} \cdot \pi \cdot (6 \text{ mm})^2 = 156 \text{ kN} > 28 \text{ kN} = V_{Rd} \quad i. O.$$

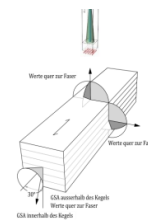
$$V_{Rd,Holz} = 8 \cdot 10.77 \text{ kN} \cdot 0.8 = 69 \text{ kN} > 28 \text{ kN} = V_{Rd} \quad i. O.$$

BSH aus Nadelholz nach EN 14080: parallel zur Faser (Faserwinkel 0 - 29.9°)

d	l _b	l _{nb}	a ₂	a _{2c}	R _{ax,k}	R _{ax,d}	Leistung
M	mm	mm	mm	mm	FK 1	FK 1	f _{akt,d}
20	350	80	75	40	105 kN	70 kN	12.0 N/mm²
16	290	65	60	35	75 kN	50 kN	12.0 N/mm²
12	200	50	45	25	40 kN	25 kN	11.5 N/mm²

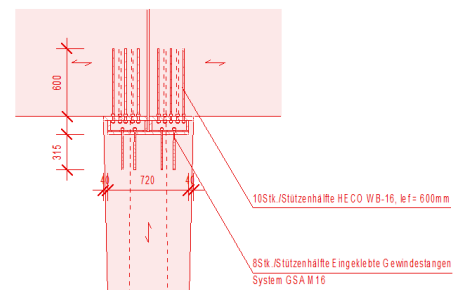
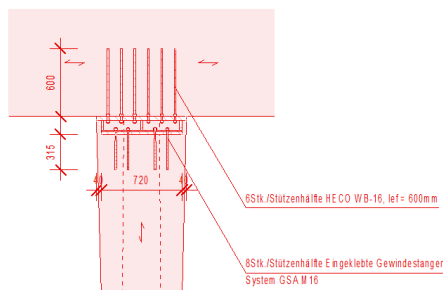


Mittelaufleger



Die Angaben in diesem Dokument haben nur Gültigkeit, wenn sämtliche Komponenten dem Standard von GSA entsprechen. Die Lizenznehmer der GSA Technology AG betreiben die dafür zwingende Qualitätssicherung.

Endauflager



Erdbebeneinwirkungen in Längsrichtung des Bauwerks

Massgebende Last: $V_{Ed,E} = \pm 132 \text{ kN}$ (beim Mittelaufleger)

Längsträger

Gewählt: Total 12 Stk. Heco WB-16

$$V_{Rd} = 13.6 \text{ kN}$$

Querkraftwiderstand Verbindung

$$V_{Rd,verb} = 12 \cdot 13.6 = 163 > 132 \text{ kN} = V_{Ed} \quad i. O.$$

Stütze

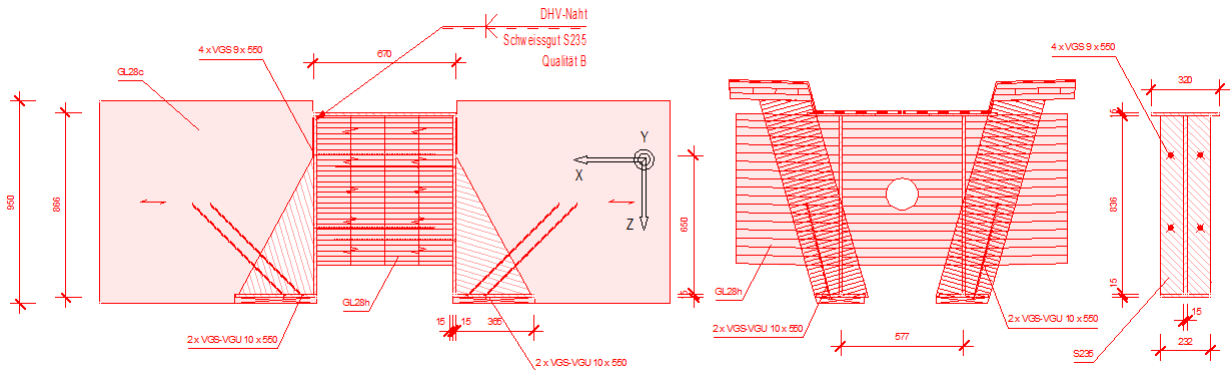
Gewählt: Total 16 Stk. GSA-M16

$$V_{Rd,GSA} = 16 \cdot \frac{300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{3}} \cdot \pi \cdot (6 \text{ mm})^2 = 313 \text{ kN} > 28 \text{ kN} = V_{Rd} \quad i. O.$$

$$V_{Rd,Holz} = 16 \cdot 10.77 \text{ kN} \cdot 0.8 = 172 \text{ kN} > 132 \text{ kN} = V_{Rd} \quad i. O.$$

8.3.2 Anschluss Längsträger – Doppelstütze

Gelenkig um Y- und Z-Achse, Eingespannt um X-Achse:



Einwirkungen

$N_{Ed} = \pm 67 \text{ kN}$ (Erdbeben massgebend)

$V_y = 22 \text{ kN}$

$V_z = 224 \text{ kN}$

$M_x = 16 \text{ kNm}$

Nachweise

Kontaktstoss in Längsträger

i. O.

Verschraubung Stahlteil mit Querträger mittels 8x VGS 9x550mm (WR-T)

$V_{Rd} = 24.7 \text{ kN} > 22 \text{ kN} = V_y$

i. O.

Querdruk, Auflager Längsträger auf Stahlschuh:

$\sigma_{c,90,d} = 1.5 \frac{N}{\text{mm}^2} < 1.52 \frac{N}{\text{mm}^2} = f_{c,90,d}$

i. O.

Schubbeanspruchung Stahlblech (b = 320 mm, t = 15 mm, S235)

$\tau_{Rd} = 128 \frac{N}{\text{mm}^2} > 35 \frac{N}{\text{mm}^2} = 1.5 \cdot \frac{224 \text{ kN}}{2 \cdot 320 \text{ mm} \cdot 15 \text{ mm}}$

i. O.

Zug / Druck vertikal aus Torsionsmoment:

Hebelarm $a = 0.63 \text{ m}$

$F_{Ed} = \frac{M}{a} = 26 \text{ kN} \rightarrow \text{keine Abhebenden Kräfte}$

i. O.

Zug / Druck horizontal aus Erdbebenbeanspruchung:

Zugkraft von 4 VGS-VGU 10x550mm aufgenommen:

$R_{d,Verb} = 4^{0.9} \cdot \frac{52.5 \text{ kN}}{1.3 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot 1.08} = 96 \text{ kN} > 67 \text{ kN}$

i. O.

Verschraubung beider Längsträger zur Übertragung der horizontalen Kraft: 4x VGS 9x550mm (WR-T)

$R_{d,Verb} = 40 \text{ kN} > 30 \text{ kN} = F_{Ed}$

i. O.

9 Bemessung GZG

Die Verformungen des Perrondachs sind folgendermassen zu beschränken, dass

1. das Lichtraumprofil zu keiner Zeit beeinträchtigt wird
→ Vertikaler Abstand Perrondach zu LRP 60 cm, horizontaler Abstand 49 cm.
2. das Wasser jederzeit zu den Abläufen fliesen kann (1.0% minimales Restgefälle)
→ Geplantes Gefälle 1.5%, Minimales Gefälle 1.0% → $w_{zul} = 32 \text{ mm}$, Lastfall häufig
3. die Durchbiegungen der Pfetten infolge Schnee kleiner als $l/350$ bleiben → $w_{zul} = 35.7 \text{ mm}$
4. die maximale horizontale Auslenkung des Rahmens infolge Schnee oder Wind kleiner als $h/200$ bleibt → $u_{zul} = 24.6 \text{ mm}$
5. die vertikale Einsenkung des Rahmenkragarmes infolge Wind oder Schnee weniger als $2 \cdot l_w/350$ beträgt → $w_{zul} = 30.6 \text{ mm}$
6. Fahrleitungsmast

Ständig- und veränderliche Lasten → $w_{uw,max} = 20 \text{ mm}$, $\theta_{max} = 0.6^\circ$

LK88 $1.0 \cdot FLM_{ständig} + 1.0 \cdot FLM_{veränd}$

LK89 $1.0 \cdot FLM_{ständig} + 0.8 \cdot FLM_{veränd} + 0.39 \cdot SL_{eins}$

LK90 $1.0 \cdot FLM_{ständig} + 0.8 \cdot FLM_{veränd} + 0.5 \cdot WL_{mS,oZ}$

Veränderliche Lasten → $w_{uw,max} = 10 \text{ mm}$

LK91 $1.0 \cdot FLM_{veränd}$

LK92 $0.8 \cdot FLM_{veränd} + 0.5 \cdot WL_{mS,oZ}$

LK93 $0.8 \cdot FLM_{veränd} + 0.39 \cdot SL_{eins}$

Siehe Dokument *CFF_2017_0_Marquises avec mâts LC – Bases de calcul* :

charges perpendiculaires à la voie

charges permanentes et variables ($W_{uw,max}=20\text{mm}$, $\theta_{max}=0.6^\circ$)

$$1.00 \cdot (PP + K + V_p + H_{pq}/M_{pq}) + \psi_1^{FL} \cdot (H_{Vq}/M_{Vq} + T_{pV}) + \psi_2^N \cdot (N) + \psi_2^V \cdot (V)$$

$$1.00 \cdot (PP + K + V_p + H_{pq}/M_{pq}) + \psi_1^N \cdot (N) + \psi_2^{FL} \cdot (H_{Vq}/M_{Vq} + T_{pV}) + \psi_2^V \cdot (V)$$

$$1.00 \cdot (PP + K + V_p + H_{pq}/M_{pq}) + \psi_1^V \cdot (V) + \psi_2^{FL} \cdot (H_{Vq}/M_{Vq} + T_{pV}) + \psi_2^N \cdot (N)$$

charges variables ($W_{uw,max}=10\text{mm}$)

$$\psi_1^{FL} \cdot (H_{Vq}/M_{Vq} + T_{pV}) + \psi_2^N \cdot (N) + \psi_2^V \cdot (V)$$

$$\psi_1^N \cdot (N) + \psi_2^{FL} \cdot (H_{Vq}/M_{Vq} + T_{pV}) + \psi_2^V \cdot (V)$$

$$\psi_1^V \cdot (V) + \psi_2^{FL} \cdot (H_{Vq}/M_{Vq} + T_{pV}) + \psi_2^N \cdot (N)$$

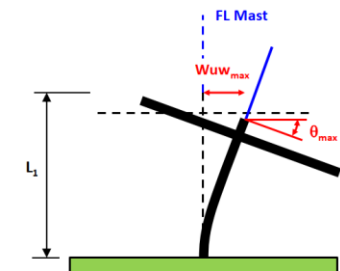


Figure 4: valeurs indicatives des déformations pour marquises avec mâts LC.

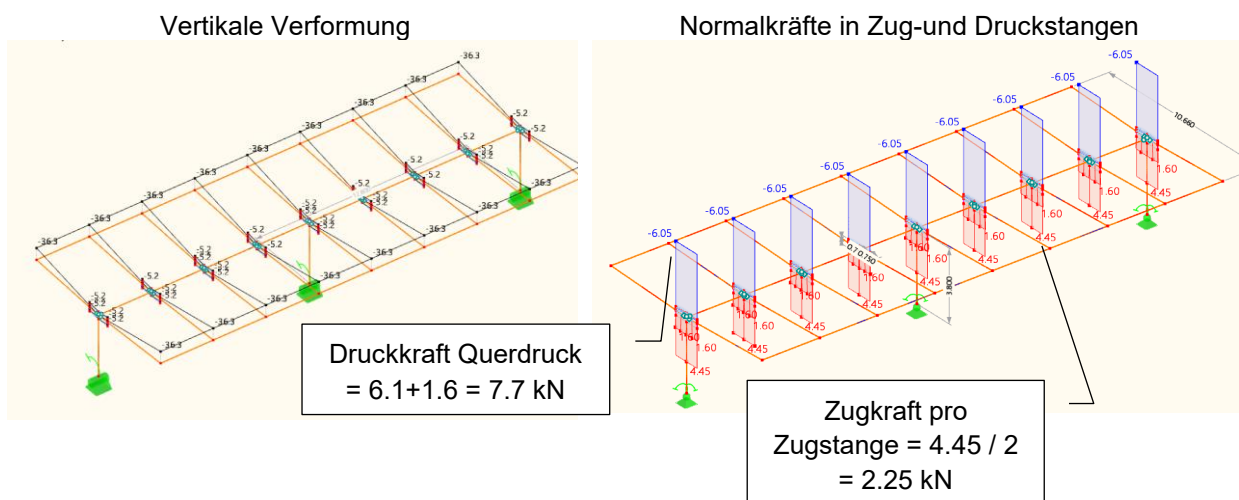
N: Schnee (Neige), V: Wind (Vent), FL: Fahrleitungsmast

9.1 Überhöhung

Beim Einbau der Querträger kann durch die Vorspannung der Zugstange eine initiale Überhöhung der Querträger erreicht werden. Die vertikale Verformung der Querträger durch die ständig wirkenden Lasten beträgt inkl. Kriechen rund 20 mm.

Durch eine initiale Vorspannung von 60 kN (3 kN + 57 kN siehe Aufnahme Moment mit RND und SSGW8.2.1) der Zugstangen kann eine Überhöhung von 36 mm erreicht werden. Durch das Kriechen reduziert sich diese initiale Überhöhung mit der Zeit und verringert sich schliesslich auf 20 mm. So können also die Verformungen aus ständig wirkenden Lasten elegant kompensiert werden. Ebenfalls kann im Bereich der Stützen die Vorspannung reduziert werden, so dass sich eine komplett gerade Linie des Dachrandes einstellt.

Die Vorspannung wird dann aufgebracht, wenn die Querträger auf dem Lehrgerüst stehen. Durch die aufgebrachte Zugkraft verringert sich die Last auf das Lehrgerüst und ein Teil der Verformung durch Eigenlasten wird kompensiert.



Verformung Längsträger (Entwässerung)

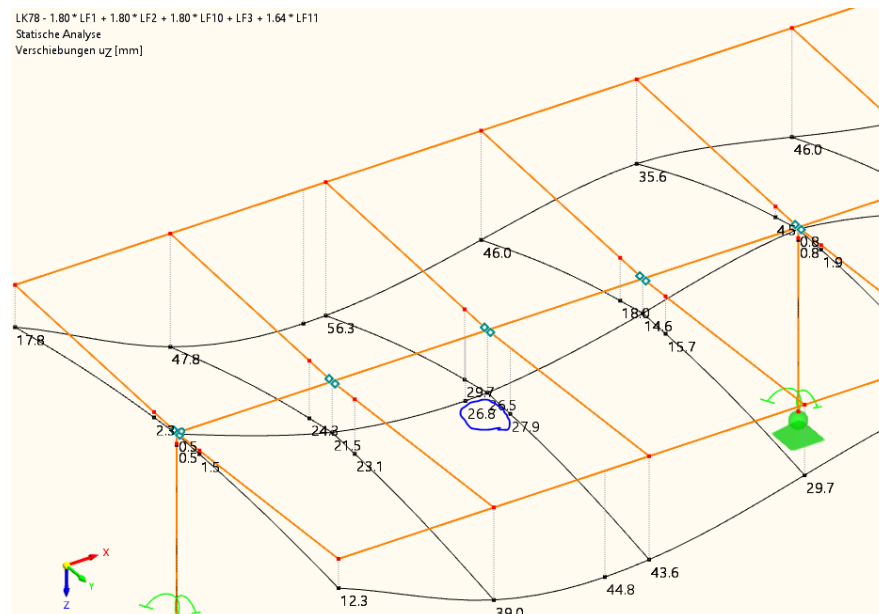
Lastkombination 78

$$q_d = 1.80 \cdot (g_k + q_{A,k} + q_{FLM,ständig}) + q_{S,kompl.} + 1.64 \cdot q_{FLM,veränd.}$$

Vertikale Verformung Längsträger

$$w_{max} = 26.8 \text{ mm} < 32 \text{ mm} = \frac{l}{350} = w_{zul}$$

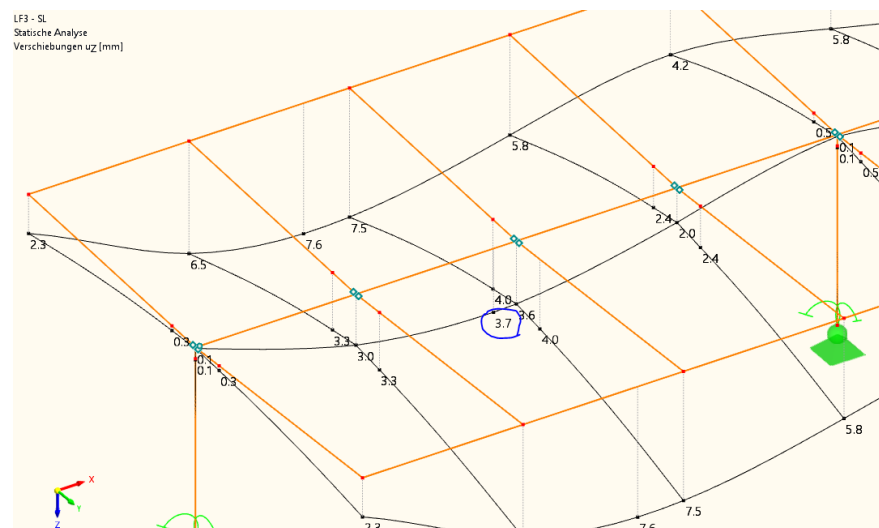
i. O.



Durchbiegungen der Pfetten infolge Schnee

$$w_{vorh} = 3.7 \text{ mm} \ll 35.7 = \frac{l}{350} = w_{zul}$$

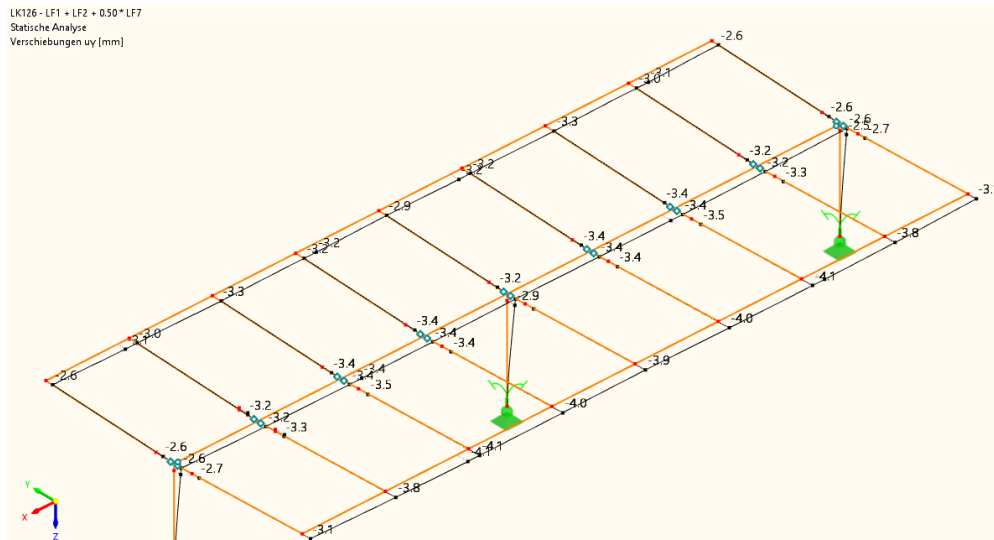
i. O.



Maximale horizontale Auslenkung des Rahmens infolge Wind

$$u_{vorh} = 4.1 \text{ mm } (\psi = 0.5) < 24.6 \text{ mm} = \frac{h}{200} = u_{zul}$$

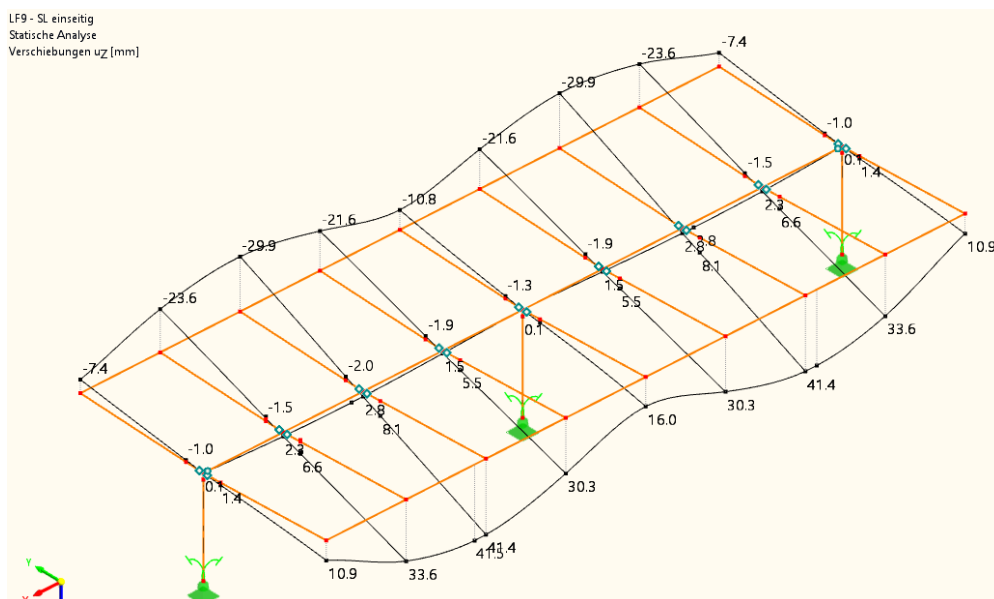
i. O.



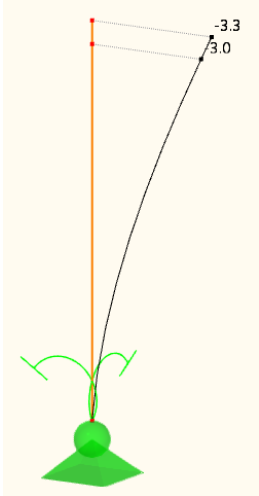
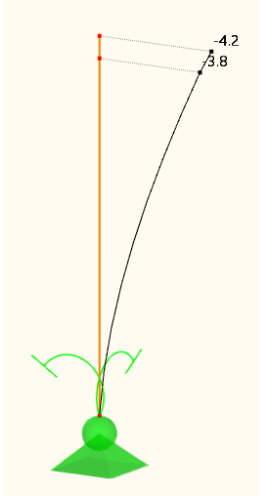
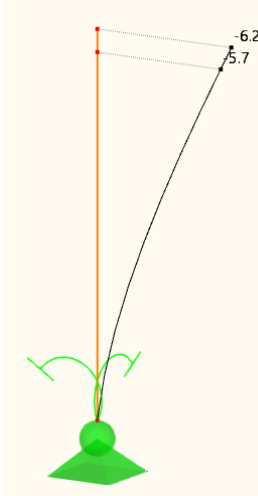
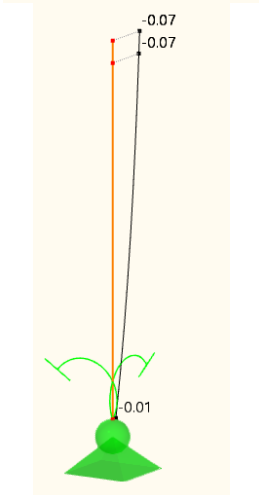
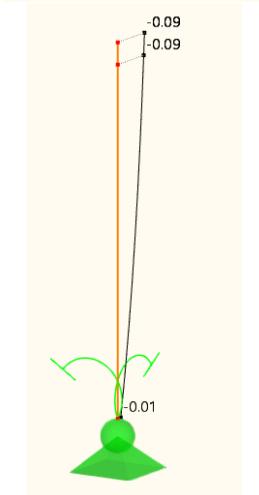
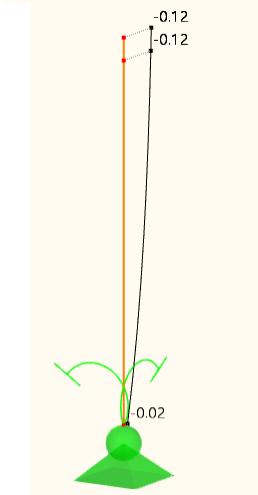
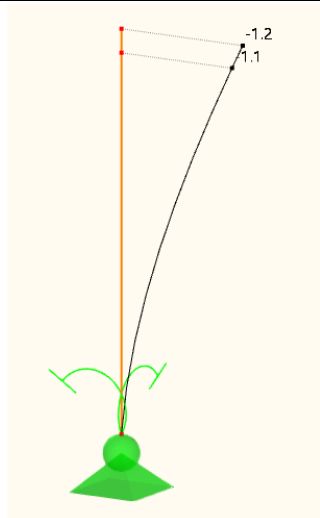
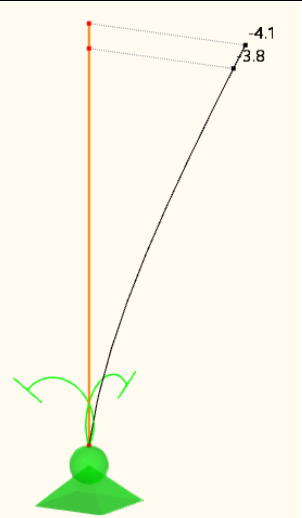
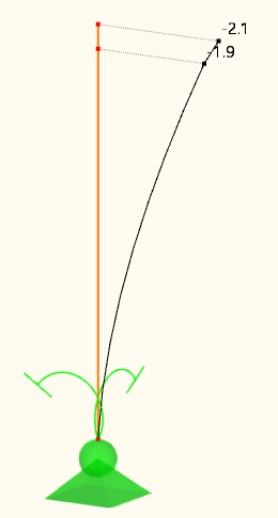
Vertikale Einsenkung des Rahmenkragarmes infolge Schnee

$$w_{vorh} = 16.2 \text{ mm } (\psi_1 = 0.39) < 30.6 \text{ mm} = 2 \cdot \frac{l}{350} = w_{zul}$$

i. O.



Fahrleitungsmast

	LK88	LK89	LK90
Auslenkung [mm]			
Rotation [°]			
$u < 20 \text{ mm}, \varphi < 0.6^\circ \text{ i. O.}$			
	LK91	LK92	LK93
Auslenkung			
$u < 10 \text{ mm i. O.}$			

9.3 Längsträger Einfeldträger auf Doppelstützen

Für den Fall des verstärkten Einfeldträgers zwischen zwei Doppelstützen wird einzig der Verformungsnachweis 2 (Entwässerung) geführt. Alle anderen Verformungen sind an dieser Stelle deutlich kleiner als im Fall Zweifeldträger Einzelstützen.

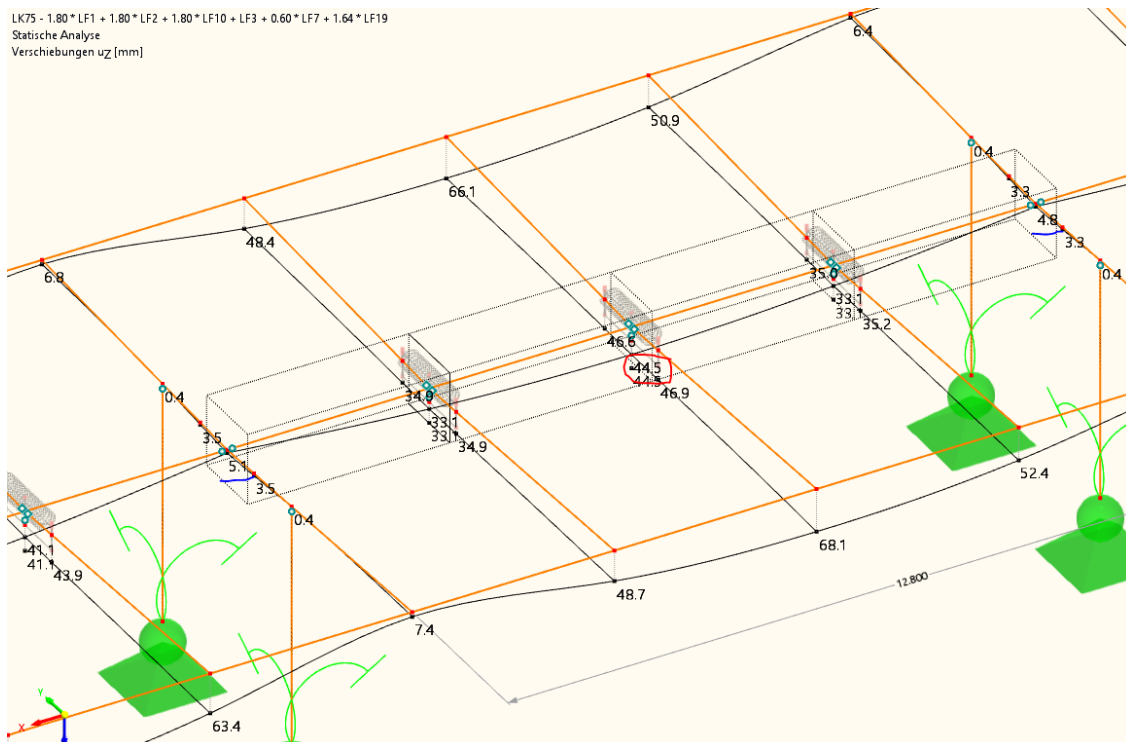
Verformung Längsträger (Entwässerung)

Lastkombination 75

$$q_d = 1.80 \cdot (g_k + q_{A,k} + q_{FLM,ständig}) + q_{S,kompl.} + 0.6 \cdot q_{WL,MS,OZ} + 1.64 \cdot q_{FLM,veränd.}$$

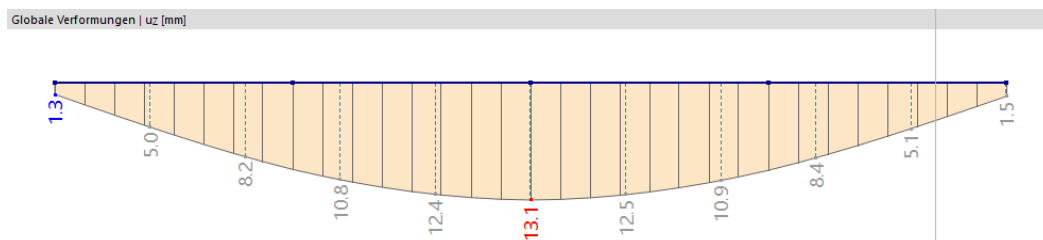
Vertikale Verformung (Verformung Hochpunkt-Ablauf):

$$w_{vorh} = 44.5 \text{ mm} - \frac{4.8 \text{ mm} + 5.1 \text{ mm}}{2} = 39.6 \text{ mm} > 32 \text{ mm} = \frac{l}{350} = w_{zul} \quad n. i. O.$$



In den Lastkombinationen werden jedoch die initialen plus die vollen Kriechverformungen angesetzt. Gemäss SIA 260:2013 Tabelle 3 gilt jedoch, dass die Verformungsnachweise für die *Durchbiegungen infolge der Einwirkungen und Langzeiteinwirkungen nach dem Einbau aller sekundärer Bauteile und der technischen Ausrüstung* anzuschauen ist. Entsprechend werden die initialen Verformungen durch das Eigengewicht der Struktur abgezogen, da die Entwässerungsrinne erst danach eingebaut wird. Daraus folgt:

$$\Delta w = 13.1 \text{ mm} - \frac{1.3 \text{ mm} + 1.5 \text{ mm}}{2} = 11.7 \text{ mm}$$



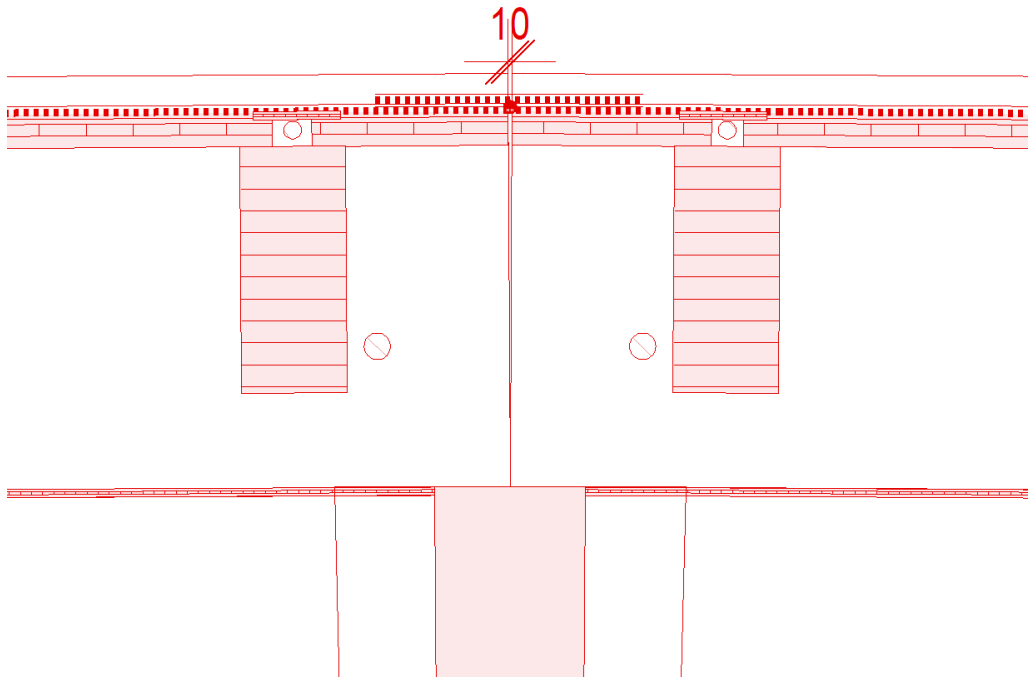
Statt dem 1.8-fachen wird nur der 0.8-fache Teil verwendet. $\rightarrow \Delta w = 9.4 \text{ mm}$

Max. Verformung inkl. Abzug der initialen Verformung:

$$w_{vorh} = 39.6 - 9.4 \text{ mm} = 30.2 \text{ mm} < 32 \text{ mm} = w_{zul} \quad i. O.$$

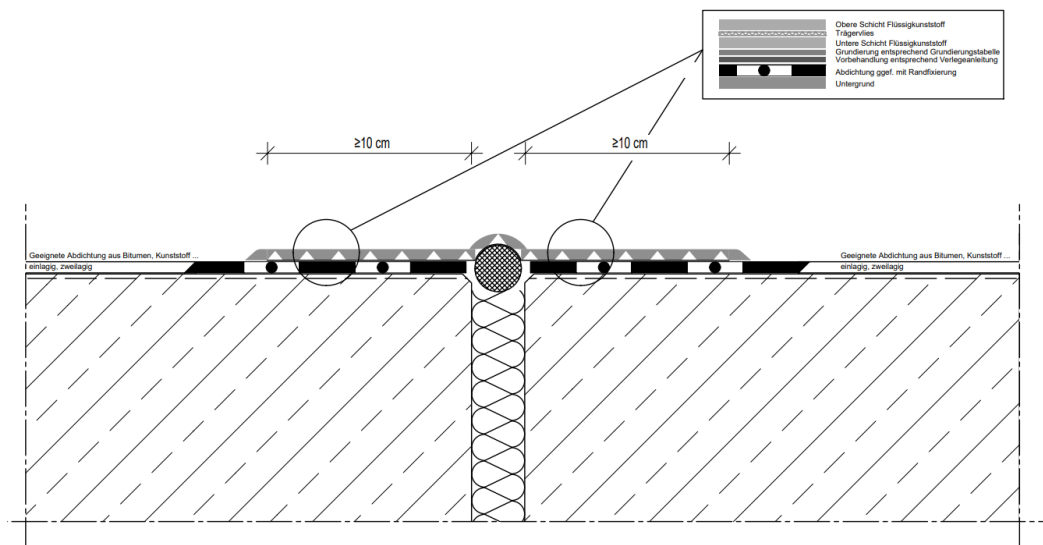
9.4 Dehnungsfugen

Beim Endauflager der Zweifeldträger (Längsträger) treten Rotationen von je 0.34° über dem Auflager auf. Diese Rotationen führen zu Bewegungen, welche die Abdichtung aufnehmen muss. Entsprechend ist der Stoss der Längsträger und Dreischichtplatte mit einer Dehnungsfuge mit einer Verformungskapazität von 20 mm auszuführen, um die maximal auftretenden Verformungen von 10 mm aufnehmen zu können:



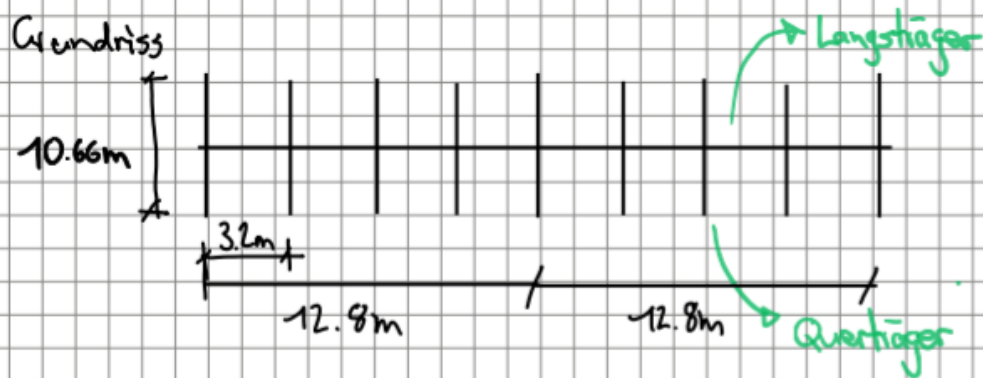
Die Rotation, welche nur durch das Eigengewicht auftritt, beträgt 0.11° und wir hier konservativ nicht abgezogen, auch wenn die Abdichtung erst nach dem Einbau geschlossen werden kann.

Ausführung:

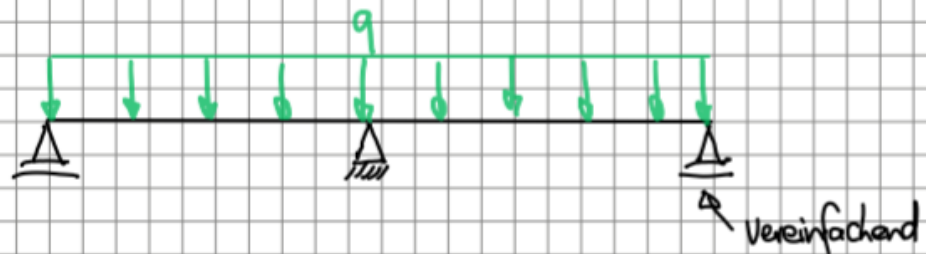


Überarbeitet 26.05.2025, Muster / Althaus

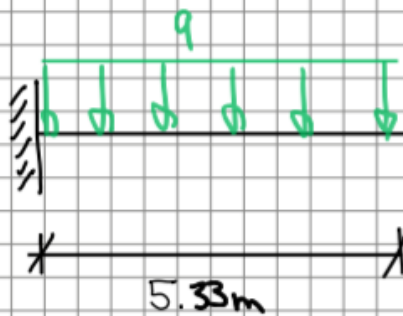
Anhang: Plausibilisierung Schnittkräfte



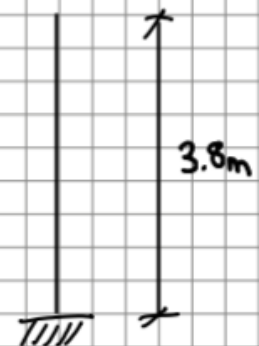
Statisches System in vertikaler & horizontaler Richtung:



System Querträger



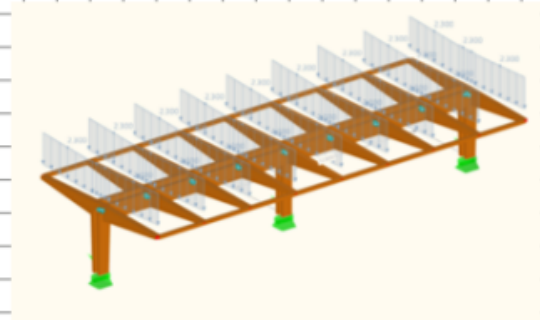
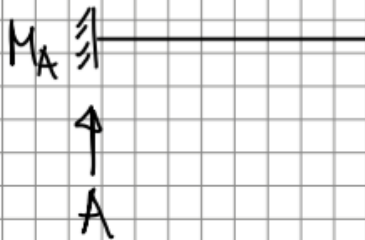
System Stütze



Lastfall Auflast

Linienlast auf Querträger

$$q = 2.4 \text{ kN/m}$$



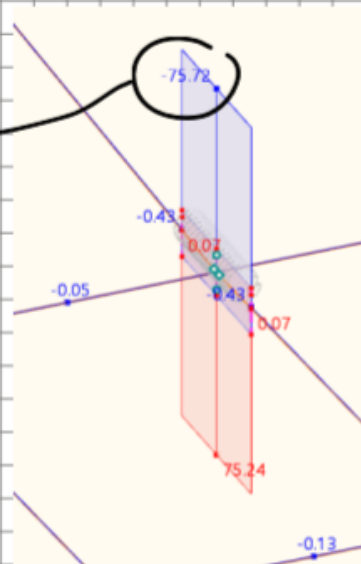
$$A = 12.8 \text{ kN}$$

$$M_A = 34.1 \text{ kNm}$$

Hebelarm Zug-/Drucklänge = 0.45m

$$\rightarrow F_{z/d} = \frac{34.1 \text{ kNm}}{0.45 \text{ m}} = 76 \text{ kN}$$

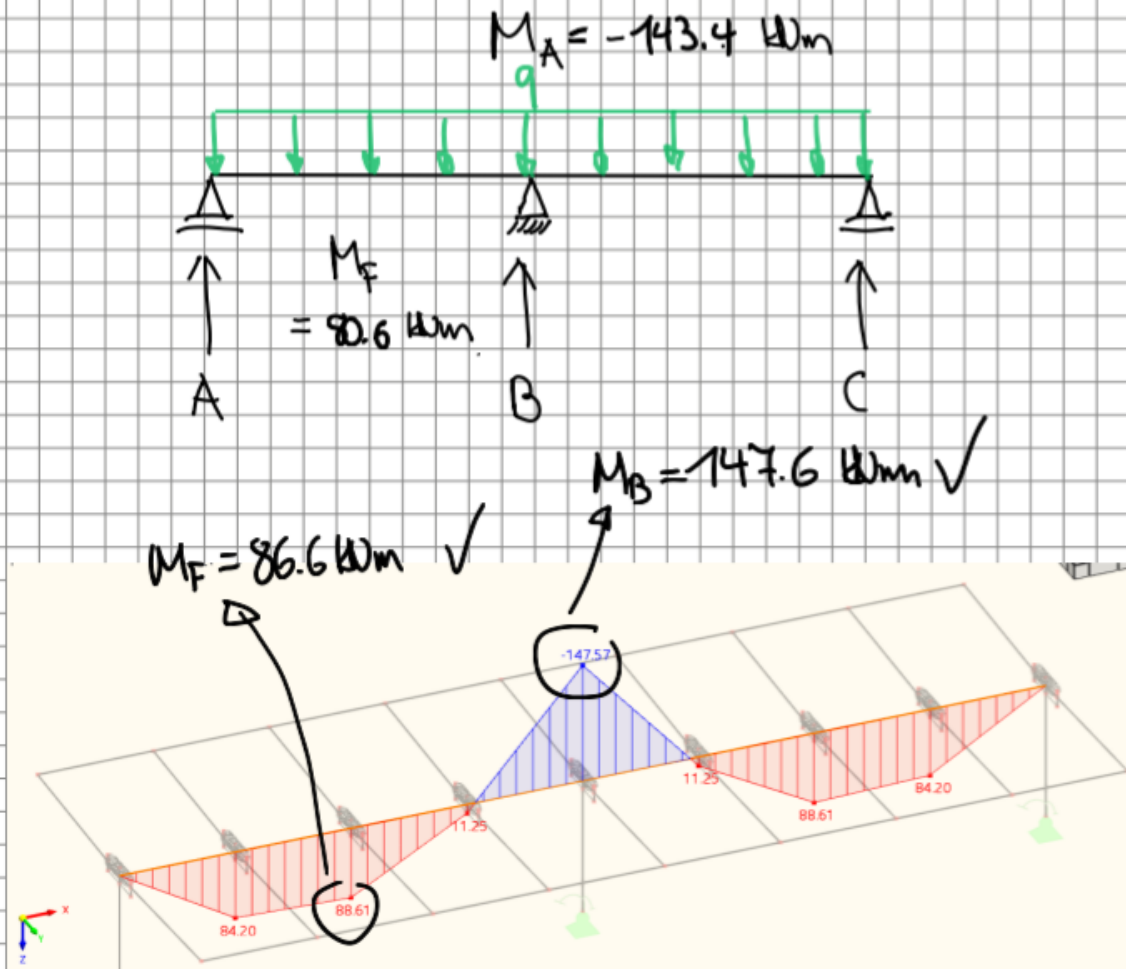
$$\text{Modell } F_{z/d} = 76 \text{ kN}$$



Vertikale Richtung

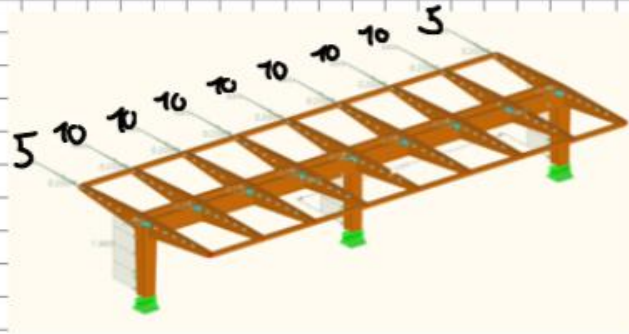
Punktlast von 12.8 kN (beidseitig) ohne Quertäger Mittelaufleger

↳ verschmiert $q = \frac{6 \times 12.8 \text{ kN} \times 2 + 2 \times 6.4 \text{ kN} \times 2}{2 \times 12.8 \text{ m}} = 7 \text{ kN/m}$

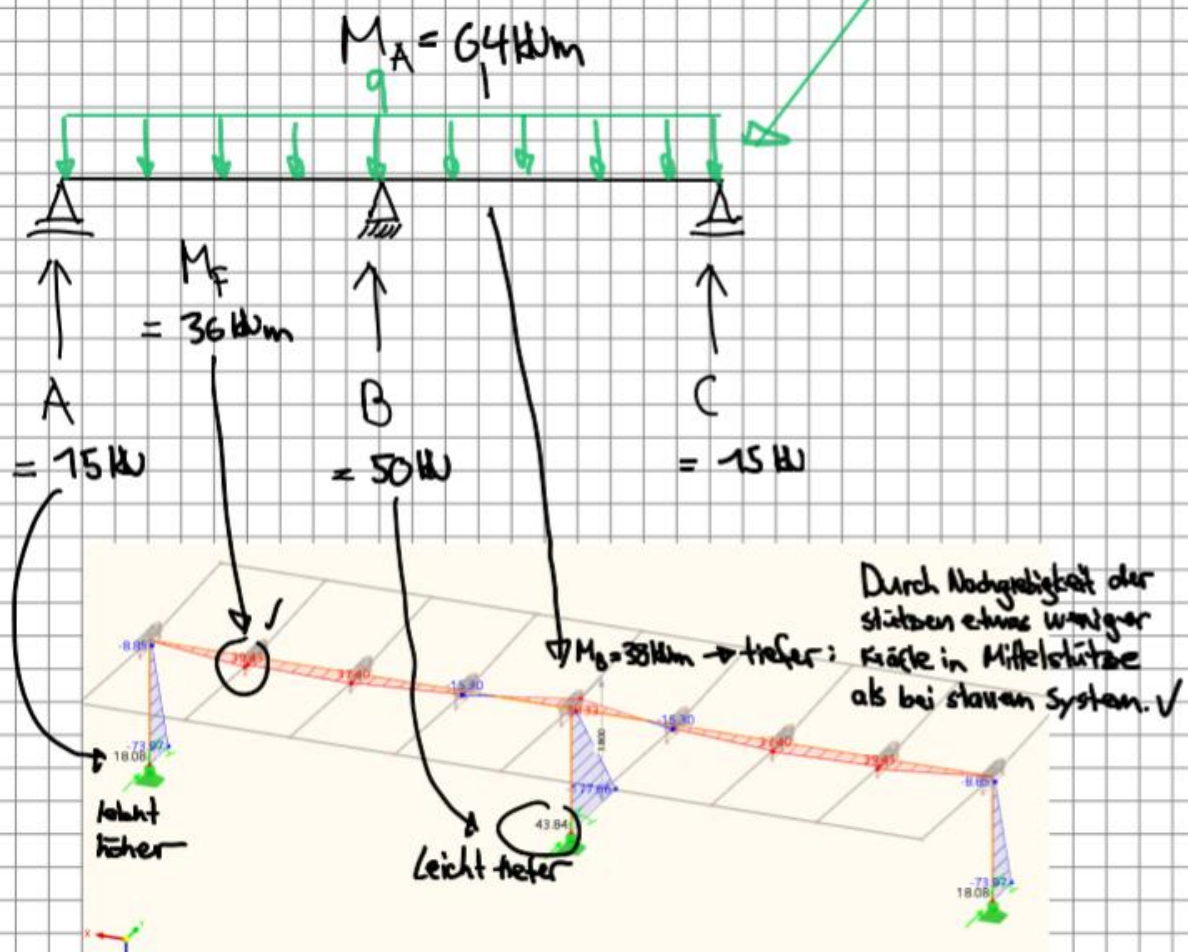


Lastfall Wind

Punklast seitlich 10 kN



↳ horizontale Last gleichmässig verteilt $q = 3.125 \text{ kN/m}$



Stütze

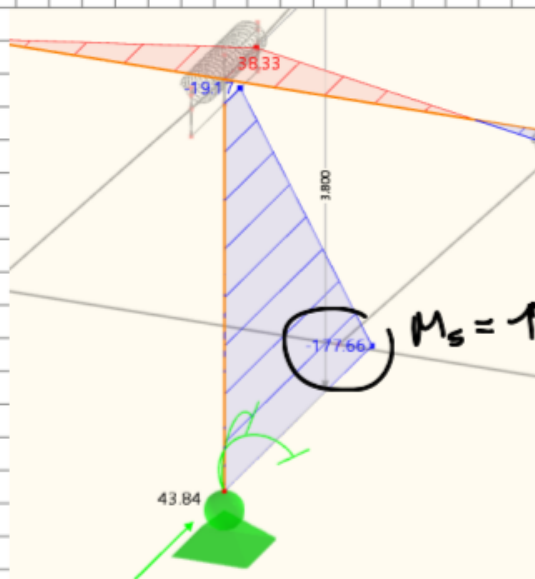
50 kN

3.8m



$$M_{\text{shop}} = 190 \text{ kNm}$$

starre Handrechnung
mit höherem Einspann-
moment ✓



$$M_s = 198 \text{ kNm}$$