

**BERICHT ÜBER STATISCHE STABILITÄT UND TRAGFÄHIGKEIT
DER KONSTRUKTION VON SOLARPANELEN**

KUNDE: "UNIPROMET" DOO, Bulevar oslobodilaca 92A, Konjevići, Čačak,

OBJEKT: Die tragende Struktur von Solarmodulen für die Lastbedingungen am jeweiligen Standort
– Ljubljana, Slowenien

ORT UND DATUM: Čačak/November 2023

INHALT

KONSTRUKTION

- Titelseite
- Inhalt
- Textdokumentation
 - Technische Beschreibung
- Numerische Dokumentation
 - Lastanalyse
 - Statische Berechnung
 - Dimensionieren

TEXTDOKUMENTATION

1. TECHNISCHE BESCHREIBUNG

Mit der Berechnung der statischen Stabilität und Belastbarkeit der Stahlkonstruktion zum Tragen des Vordachs mit Solarpaneelen – Standort Ljubljana, Slowenien

1.1 Allgemeines

Gegenstand der Berechnung ist die Überprüfung der statischen Raumstabilität und Tragfähigkeit der Stahlkonstruktion zur Aufnahme der Überdachung mit Solarpaneelen. Die Prüfung erfolgt auf Wunsch des Auftraggebers zur Optimierung der Bauelemente. Zur Überprüfung übermittelte der Auftraggeber neben dem Standort (Ljubljana) auch die grundlegenden Parameter der geometrischen und materiellen Eigenschaften der Bauelemente. Alle Berechnungen erfolgen nach dem Eurocode für diese Bauart und Belastung.

1.2 Beschreibung der Konstruktion

Die Solarpaneele sind in einer Neigung von $7,7^\circ$ zur Horizontalen auf einer Stahlkonstruktion (Grundmaß 10,40m x 5,7m) aus linearen Elementen angebracht. Die Konstruktion besteht aus Plattenstützen im Raster von 0,95 m. Sie basieren auf den Hauptstützen mit variablem Querschnitt, einem statischen Kragssystem, bestehend aus zwei Elementen (Kragbalken und Stützen). Es gibt keine Verbindungen in der Ebene der Panele und auf Wunsch des Auftraggebers wurde davon ausgegangen, dass die Panele über die erforderliche Steifigkeit verfügen, um Lasten in ihrer Ebene, sowie Biegung aufgrund des Auftretens unterschiedlicher auf sie einwirkender Lasten aufzunehmen.

1.3 Förderbedingungen

In Absprache mit dem Auftraggeber wurde für die Berechnung davon ausgegangen, dass die Stützen des Bauwerks im Sockel verkeilt sind. Die Art der Befestigung der Stützen im Fundament – mit Hilfe von Pfählen, AB-Fundament oder AB-Grundplatte – ist Gegenstand einer besonderen Analyse und Berechnung und hängt von den spezifischen Bedingungen des Fundaments – den geomechanischen Eigenschaften – ab der Boden. Als Ergebnis der statischen Analyse im Rahmen dieses Projekts werden daher die entsprechenden Reaktionen der Stützen für die weitere Berechnung der Fundamente beigefügt.

1.4 Belastungen

Eingabedaten für die Lastberechnung werden wie folgt übernommen:

- Daten zum Eigengewicht der Solarpaneele wurden vom Auftraggeber eingeholt;
- Das Eigengewicht der Stahlelemente der Struktur wird automatisch im Modell im Tower generiert;
- Nutzlast
- Daten zu den charakteristischen Werten der Schneeeinwirkung werden gemäß dem

- Nationalen Anhang SIST EN 1991-1-3 übernommen;
- Daten zu grundlegenden Windgeschwindigkeiten werden gemäß dem Nationalen Anhang SIST EN 1991-1-4 übernommen;
 - Der Wert der maximalen Referenzhorizontalbeschleunigung auf dem Grundgestein für eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren wurde auf der Grundlage von Messwerten aus Eurocode 8 (SIST EN 1998-1: 2009-01) ermittelt..

1.5 Statische Berechnung und Bemessung

Die statische Berechnung erfolgte anhand eines 3D-Modells der Linienstützen im Tower. Die auf das Modell wirkende Plattenlast wird entsprechend der entsprechenden Wirkfläche in eine Ersatzlinienlast „umgeformt“, unter der genannten Annahme, dass die Platten selbst über eine ausreichende Steifigkeit verfügen, um die vorgesehene Last aufzunehmen. Der Kunde gibt Garantien!

Die Bemessung von Bauteilen erfolgt nach dem Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) für die entsprechenden maßgebenden Einflüsse, gemäß den Bestimmungen des Eurocode 3 (EN 1993).

Die Überprüfung des Gebrauchstauglichkeitsgrenzzustands (SLS) ist in diesem Teil der Berechnung nicht enthalten. Wenn bestimmte Kriterien für die Durchbiegung der Stützen, d. h. die Bewegung der Säulenoberseiten, eingehalten werden müssen, muss der Kunde die erforderlichen Grenzwerte angeben, damit die Erfüllung der genannten Kriterien überprüft werden kann.

1.6 Angenommene Materialien

Das gewalzte Material ist Stahl der Klasse S 355.

NUMERISCHE DOKUMENTATION

2. LASTANALYSE

2.1 Eigengewicht

- Eigengewicht der Stahlbauteile:

gst - automatisch im Tower generiert;

- Eigengewicht des Panels:

gpanela = 0.20 kN/m²; (der vom Kunden erhaltene Wert)

2.2 Nützlich

- Konzentrierte Kraft durch das Gewicht des Arbeiters::

P = 1.0 kN/m

2.3 Schnee

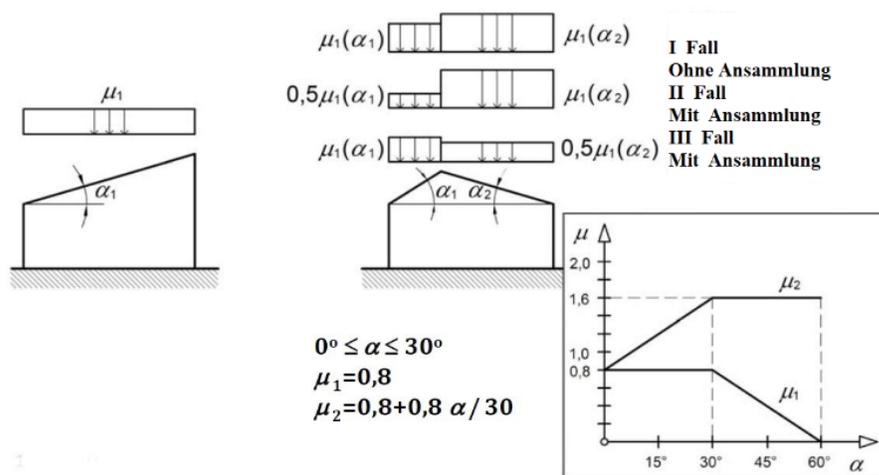
- Charakteristischer Wert des Schneeeffekts:

sk = 1.5 kN/m²;

Der charakteristische Wert der Schneewirkung wurde aus SIST EN 1991-1-3 für den genannten Standort Ljubljana abgelesen.

- Formkoeffizient (Neigung) des Daches:

$\mu_1 = 0.8$ ($\alpha = 7.7^\circ$);



Wärmekoeffizient:

Ct = 1.0;

Belichtungskoeffizient:

Ce = 1.0;

- Berechnungswert der Schneelast (durch horizontale Projektion des Daches/Paneels):
 $s = \eta * C_t * C_e * s_k = 1.20 \text{ kN/m}^2$;

2.4 Wind

- Grundlegende Grundwindgeschwindigkeit:
 $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$; (Hinweis: der vom Kunden des Projekts erhaltene Wert.)
- Windrichtungskoeffizient:
 $C_{dir} = 1.0$;
- Saisonaler Wirkungskoeffizient:
 $C_{season} = 1.0$;
- Grundlegende Windgeschwindigkeit:
 $v_b = C_{dir} * C_{dir} * v_{b,0} = 1.0 * 1.0 * 25 = 25 \text{ m/s}$;
- Geländetopographiekoeffizient:
 $C_0 = 1.0$ (Der Einfluss der Geländetopographie auf die Windgeschwindigkeit wird ignoriert);
- Geländekoeffizient:
 $k_r = 0.25 * (z_0 / 0.05)^{0.07} = 0.19$;
 (II Geländekategorie – Geländeparameter: $z_0 = 0.05 \text{ m}$; $z_{min} = 2 \text{ m}$);
- Geländerauigkeitskoeffizient:
 $z > z_{min}$ (z - Referenzhöhe über dem Boden);
 $C_r = k_r * \ln(z/z_0) = 0.19 * \ln(3.3/0.05) = 0.796$;
- Mittlere durchschnittliche Windgeschwindigkeit:
 $v_m = C_r * C_0 * v_b = 0.796 * 1.0 * 25 = 19.90 \text{ m/s}$;
- Grundlegender Winddruck:
 $q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 = 0.391 \text{ kN/m}^2$;
 ($\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$ - Luftdichte);
- Turbulenzintensität:
 $I_v(z) = k_1 / (c_0(z) * \ln(z/z_0))$;
 (k_1 - Koef. Turbulenzen, Empfehlung EN $k_1 = 1.0$);

$$lv(z) = ki/(co(z)*\ln(z/z_0)) = 1.0/(1.0 * \ln(3.3/0.05)) = 0.239;$$

- Windböendruck:

$$q_p = (1 + 7lv(z))*0.5*p*V_m^2 =$$

$$= (1 + 7*0.239)*0.5 * 1.25*(19.90)^2/1000 = 0.661 \text{ kN/m}^2.$$

Belastung pro Plattenfläche:

Da die Paneelaufgabe statisch der Dachaufgabe der Vordächer entspricht, d.h. Auf dem Dach von Bauwerken ohne feste Wände wird der Winddruck auf die Plattenoberfläche anhand der Koeffizienten für Vordachdächer berechnet.

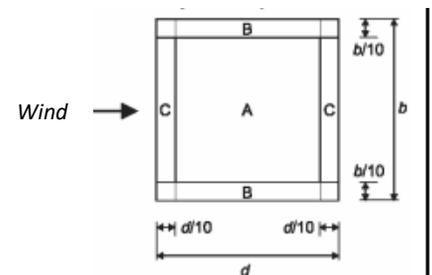
Der kombinierte Einfluss des Windes, der sowohl auf die Luv- als auch auf die Leeseite des Paneels wirkt, für alle Windrichtungen, wird mithilfe der tabellarischen Koeffizienten ermittelt:

- Koeffizient der globalen Kraft (C_f);
- Nettodruckkoeffizient ($C_{p,net}$).

Tabelle: Koeffizienten der globalen Kraft und des Nettodrucks aufgrund der Windeinwirkung auf Dachstützen von Vordächern

Nettodruckkoeffizienten

Erklärung im Grunde genommen



Der Winkel des Daches Koeffizient der globalen Kraft Koeffizient der globalen Kraft Zone A Zone B Zone C

Угао нагиба крова α	Коефицијент попуњености φ	Коефицијенти глобалне силе c_f	Зона А	Зона В	Зона С
0°	максимум за све φ	+0,2	+0,5	+1,8	+1,1
	минимум $\varphi = 0$	-0,5	-0,6	-1,3	-1,4
	минимум $\varphi = 1$	-1,3	-1,5	-1,8	-2,2
5°	максимум за све φ	+0,4	+0,8	+2,1	+1,3
	минимум $\varphi = 0$	-0,7	-1,1	-1,7	-1,8
	минимум $\varphi = 1$	-1,4	-1,6	-2,2	-2,5
10°	максимум за све φ	+0,5	+1,2	+2,4	+1,6
	минимум $\varphi = 0$	-0,9	-1,5	-2,0	-2,1
	минимум $\varphi = 1$	-1,4	-1,6	-2,6	-2,7
15°	максимум за све φ	+0,7	+1,4	+2,7	+1,8
	минимум $\varphi = 0$	-1,1	-1,8	-2,4	-2,5
	минимум $\varphi = 1$	-1,4	-1,6	-2,9	-3,0
20°	максимум за све φ	+0,8	+1,7	+2,9	+2,1
	минимум $\varphi = 0$	-1,3	-2,2	-2,8	-2,9
	минимум $\varphi = 1$	-1,4	-1,6	-2,9	-3,0
25°	максимум за све φ	+1,0	+2,0	+3,1	+2,3
	минимум $\varphi = 0$	-1,6	-2,6	-3,2	-3,2
	минимум $\varphi = 1$	-1,4	-1,5	-2,5	-2,8
30°	максимум за све φ	+1,2	+2,2	+3,2	+2,4
	минимум $\varphi = 0$	-1,8	-3,0	-3,8	-3,6
	минимум $\varphi = 1$	-1,4	-1,5	-2,2	-2,7

НАПОМЕНА Позитивне вредности представљају нето дејство ветра које делује наниже, а негативне вредности представљају нето дејство ветра који делује навише.

Hinweis: Positive Werte stellen den Nettoeffekt des nach unten wirkenden Windes dar, und negative Werte stellen den Nettoeffekt des nach oben wirkenden Windes dar.

o Belegungsgrad des Raumes unter der Paneelhalterung:

ϕ - das Verhältnis der Fläche möglicher realer Hindernisse unter dem Vordach zur Querschnittsfläche unter dem Vordach, wobei beide Flächen senkrecht zur Windrichtung stehen;
 $\phi = 0$ (Leerraum unterhalb der Platte);

o Neigungswinkel der Dachebene ($\alpha = 7.7^\circ$);

- Globale Kraftkoeffizienten (C_f):

Abwärtswindwirkung: $C_f = + 0.45$;

die Wirkung des Windes nach oben: $C_f = - 0.8$;

- Nettodruckkoeffizienten ($C_{p,net}$):

Abwärtswindwirkung: Zona A: + 1.0; Zona B: + 2.3; Zona C: + 1.5;

die Wirkung des Windes nach oben: Zona A: - 1.3; Zona B: - 1.9; Zona C: - 2.0;

- Winddruck auf die Struktur:

$w = P_p * C_{p, net}$;

die Wirkung des Windes nach unten (drückend):

Zona A: $w (+) = + 0.661 \text{ kN/m}^2$;

Zona B: $w (+) = + 1.520 \text{ kN/m}^2$;

Zona C: $w (+) = + 0.990 \text{ kN/m}^2$; Aufwindeffekt:

Zona A: $w (-) = - 0.859 \text{ kN/m}^2$;

Zona B: $w (-) = - 1.256 \text{ kN/m}^2$;

Zona C: $w (-) = - 1.322 \text{ kN/m}^2$.

Auf Spalten Belastung:

X Richtung:

Die Berechnung der Windeinwirkung auf die Struktur erfolgte gemäß der Norm SRPS EN 1991-1-4, Kapitel 7.7 Bauelemente mit scharfen Kanten. Es wurde angenommen, dass sich die Windeinwirkung auf die Querschnitte proportional zu deren geometrischen Eigenschaften (Abmessung des Querschnitts senkrecht zur Windeinwirkung) verteilt.

- | | |
|---|---------------------|
| - Kraftbeiwert ohne Windströmung | $C_{f,o} = 1.8$ |
| - Koeffizient der Endeffekte | $\psi\lambda = 1$ |
| - Abmessung des Querschnitts senkrecht zur Windeinwirkung | $b = 0,2 \text{ m}$ |

Verteilte Windlast auf dem Abschnitt: $F_{w,x} = q_p(z) * C_e(z) * C_{f,o} * i_p A * b = 0.4 \text{ kN/m}$

Y Richtung:

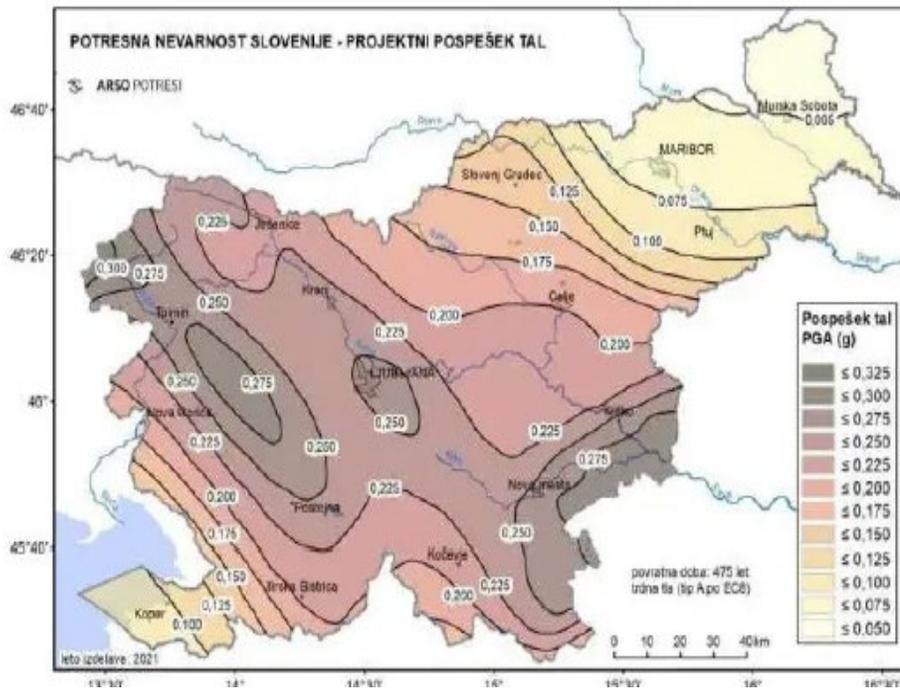
- Kraftbeiwert ohne Windströmung $C_{f,o} = 1.6$
- Koeffizient der Endeffekte $\psi_\lambda = 0.98$
- Abmessung des Querschnitts senkrecht zur Windeinwirkung $b = 0,3\text{m}$

Verteilte Windlast auf dem Abschnitt : $F_{w,y} = q_p(z) * C_e(z) * C_{f,o} * i_p A * b = 0.53 \text{ kN/m}$

2.5 Seismische Wirkung

- Referenz maximale horizontale Bodenbeschleunigung auf Grundgestein:
 $a_{g,R} = 0.25g$;
(zur Analyse des Traggrenzzustandes, Wiederkehrperiode $T = 475$ Jahre);

Der Wert der maximalen Referenzhorizontalbeschleunigung am Grundgestein für den genannten Standort (Ljubljana) wurde auf der Grundlage von Messwerten aus der Erdbebengefährdungskarte der Republik Slowenien übernommen.



Signifikanzfaktor für T = 475 Jahre:

$$Y_i = 1;$$

- Maximale horizontale Bodenbeschleunigung auslegen:

$$a_g = Y_i * a_{g,R} = 0.25g;$$

- - Der Boden, auf dem das Objekt errichtet wird, gehört zur Bodenart B, für die folgende Parameter gelten:

$$S = 1.2;$$

$$T_B = 0.15s;$$

$$T_C = 0.5s;$$

$$T_D = 2s;$$

Es wird Spektrumtyp 1 verwendet.

- Der Verhaltensfaktor:

$$q = 2.0;$$

- Schwingende Masse:

$$m = 22.4 \text{ kN}; \text{ (Eigengewicht der Struktur zusammen mit dem Gewicht der Panele)}$$

- - Schwingungsperioden:

$$T_y = 0.11s;$$

$$T_x = 0.08s;$$

Berechnet mithilfe der Modalanalyse in Tower.

Anmerkung:

Die seismische Berechnung wurde im Tower mit der Methode der äquivalenten Horizontalkräfte des Eurocode 8 (EN1998) in zwei orthogonalen Richtungen für die berechneten Schwingungsperioden und die gesamte schwingende Masse durchgeführt.

Die erhaltenen Einwirkungen aus Kombinationen mit seismischer Belastung werden mit Gesamthüllen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit in Verbindung gebracht.

2.6 Lastkombinationen

Die folgenden Lastkombinationen beziehen sich auf die Berechnung des Bauwerks nach dem Grenzzustand der Belastung (GZT), während für die Überprüfung des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit (GZG), also der Durchbiegung der Bauelemente, Kombinationen mit unfaktorierten Lasten verwendet werden.

I Kombination - Eigengewicht:

$$1.35 \cdot G ;$$

II Kombination – dominante Nutzlast-Montagephase:

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q ;$$

III Kombination - Schnee als dominierende variable Belastung mit Wind in X-Richtung:

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot S + 0.9 \cdot 1.5 \cdot W_x (+);$$

IV Kombination - Schnee als dominierende variable Belastung bei Wind in X-Richtung:

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot S + 0.9 \cdot 1.5 \cdot W (-);$$

V Kombination – Wind (Abwärtswirkung) als dominierende variable Last in X-Richtung:

$$1.0 \cdot G + 1.5 \cdot W_x (-);$$

VII Kombination - Schnee als dominierende variable Belastung mit Wind in Y-Richtung:

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot S + 0.9 \cdot 1.5 \cdot W_y (-);$$

VIII Kombination – Wind (Druckwirkung) als dominierende variable Belastung in Y-Richtung:

$$1.35 \cdot G + 1.5 \cdot 0.5 \cdot S + 1.5 \cdot W_y (+);$$

IX Kombination - seismisch in X-Richtung:

$$1.0 \cdot G + 1.0 \cdot S_x + 0.3 \cdot S_y;$$

X Kombination – seismisch in X-Richtung:

$$1.0 \cdot G + 1.0 \cdot S_x - 0.3 \cdot S_y;$$

XIII Kombination - seismisch in Y-Richtung:

$$1.0 \cdot G + 0.3 \cdot S_x + 1.0 \cdot S_y;$$

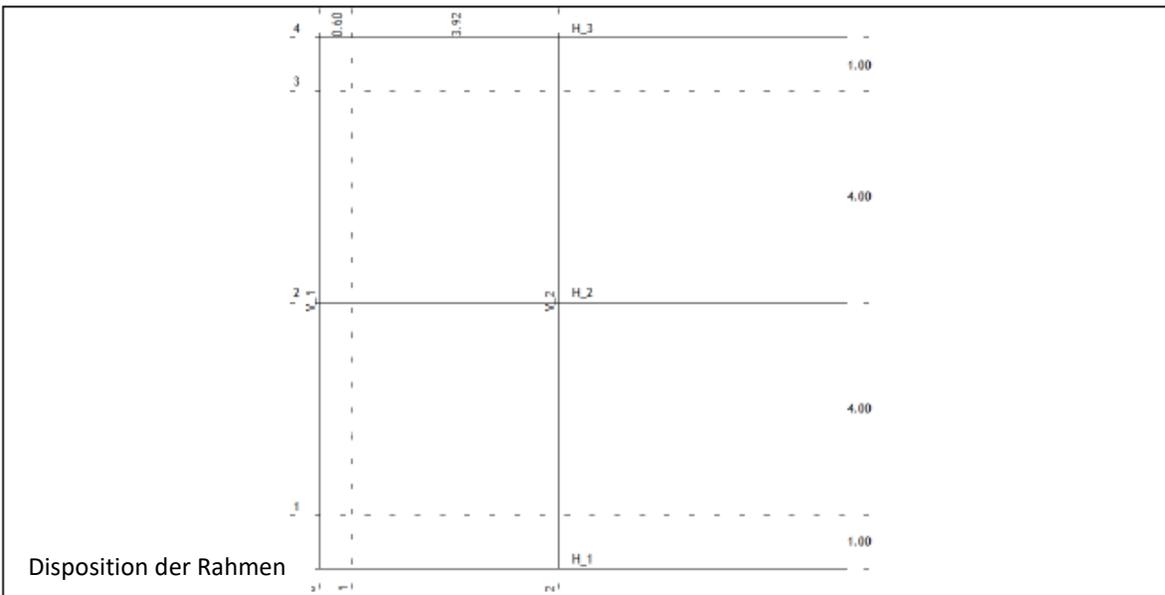
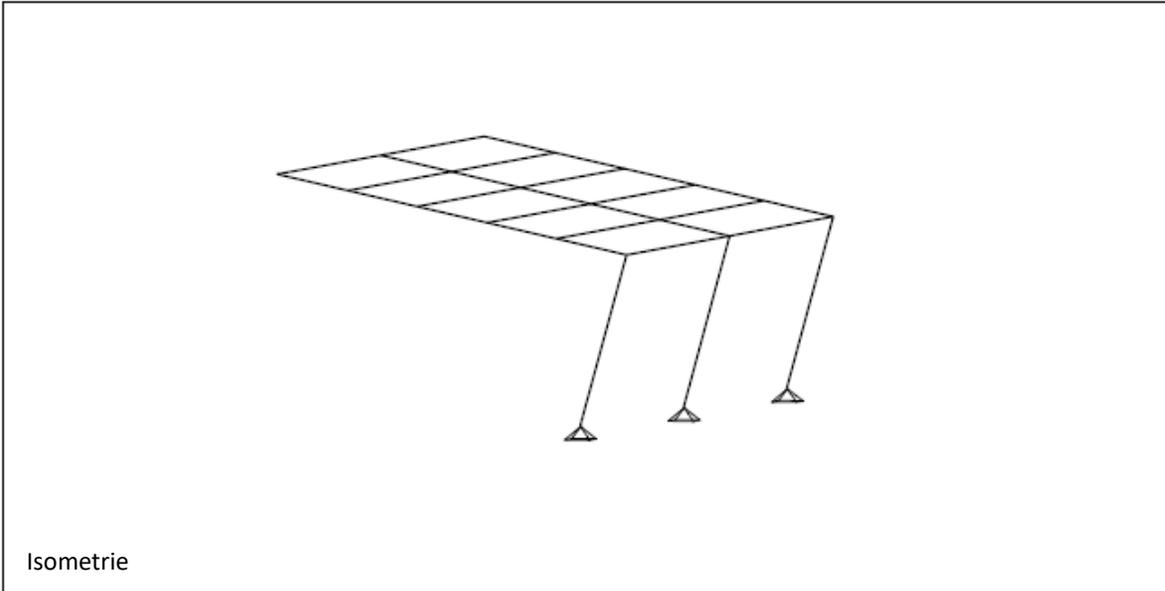
IX Kombination - seismisch in Y-Richtung:

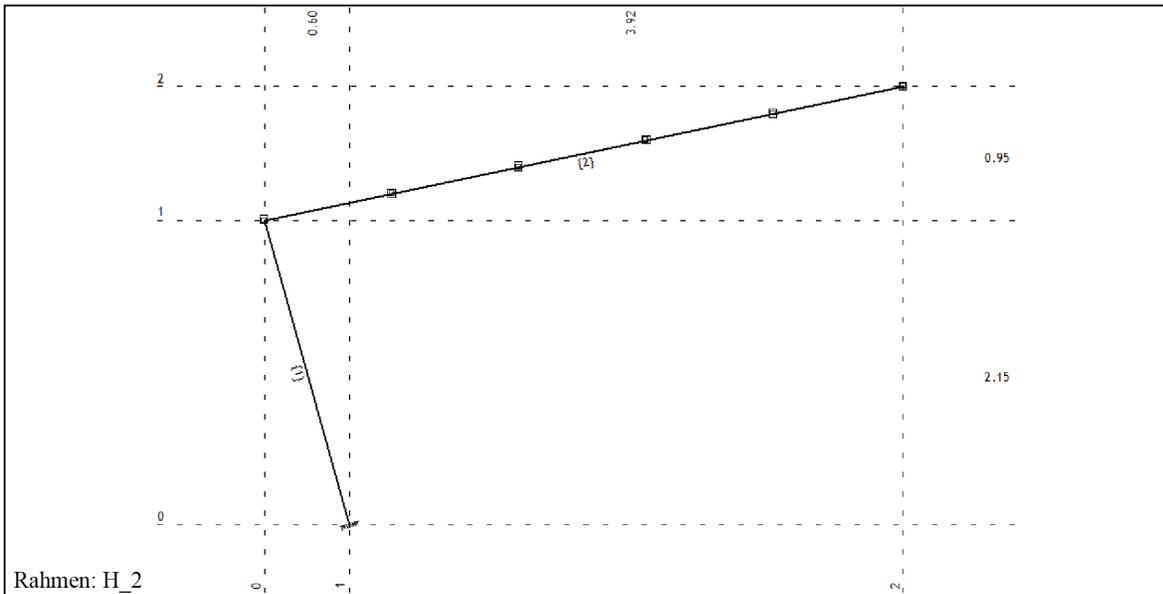
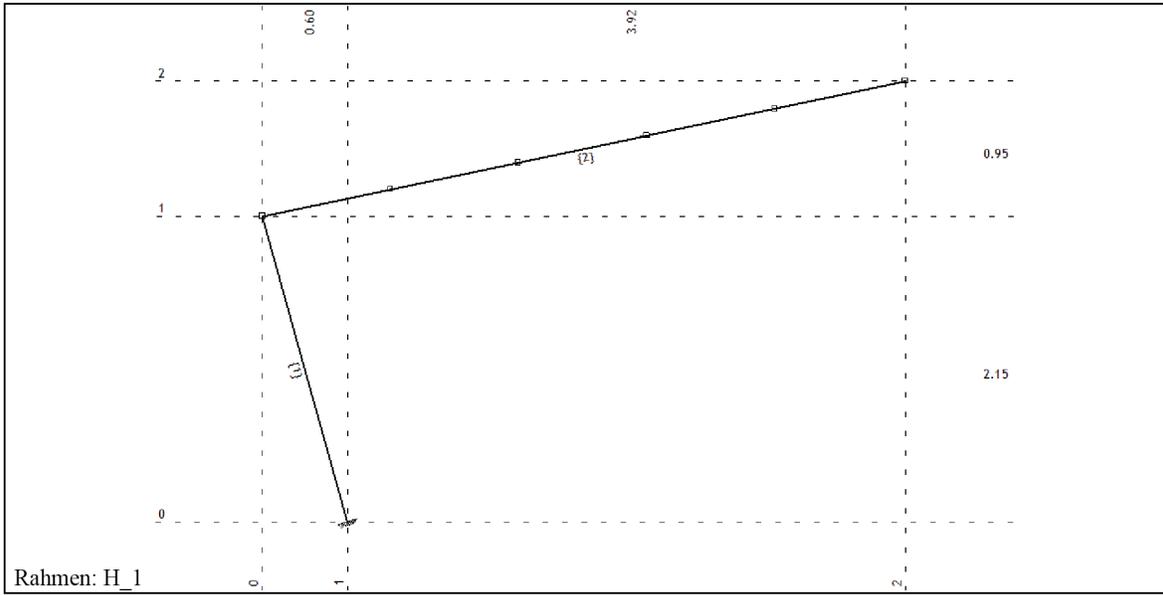
$$1.0 \cdot G - 0.3 \cdot S_x + 1.0 \cdot S_y;$$

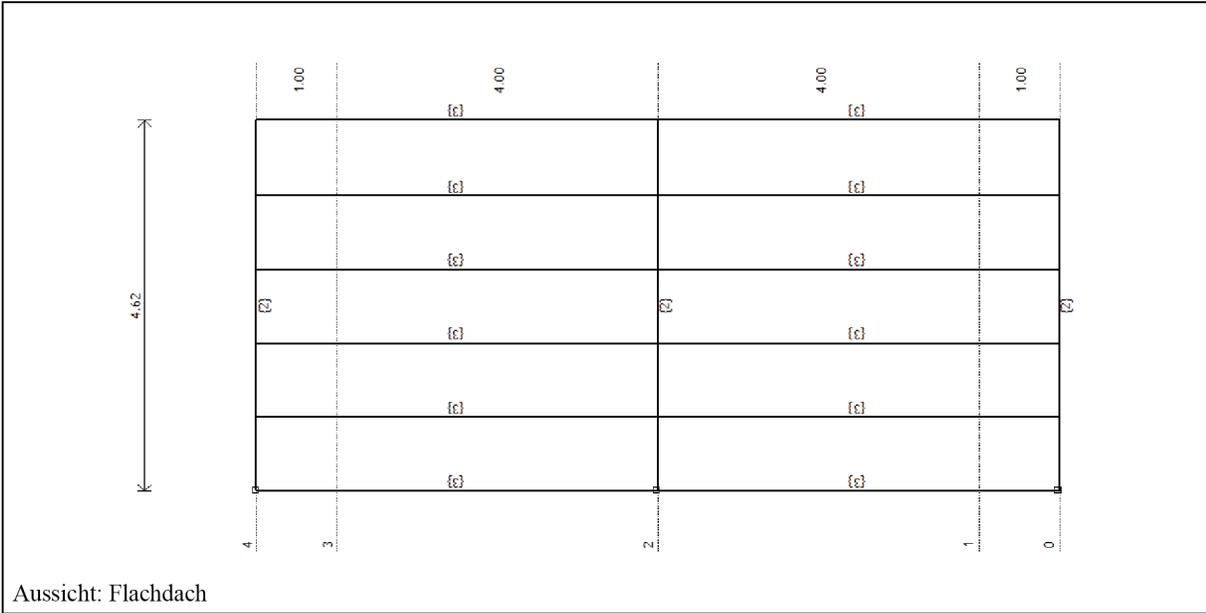
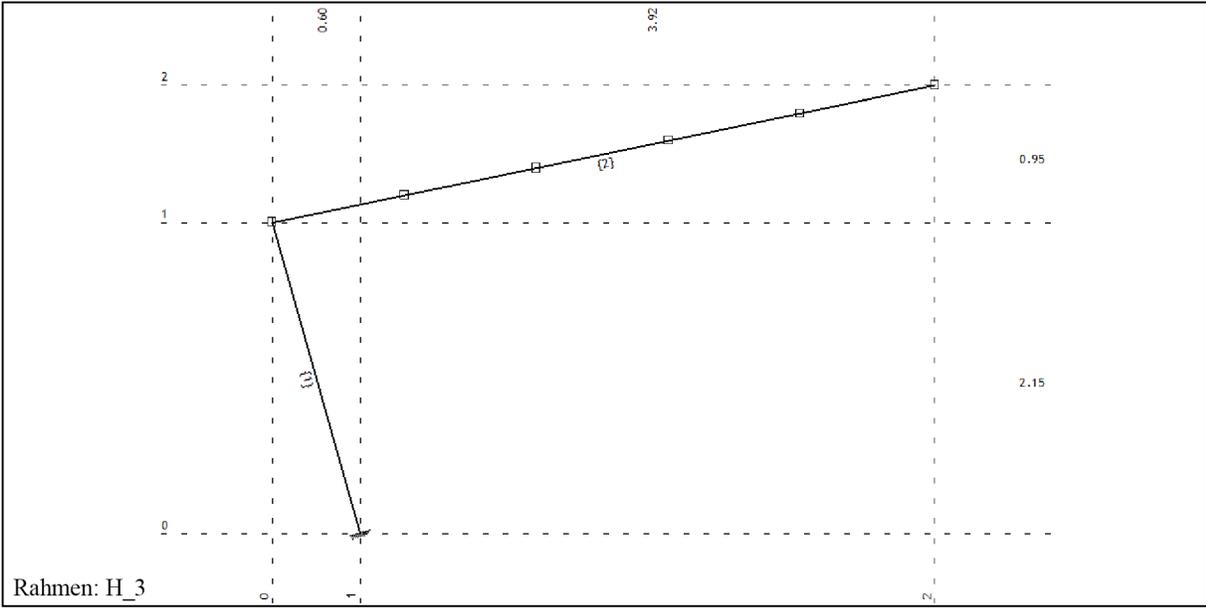
Für zuvor gebildete Lastkombinationen im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird eine Einwirkungshülle gebildet, nach der die Strukturelemente dimensioniert werden.

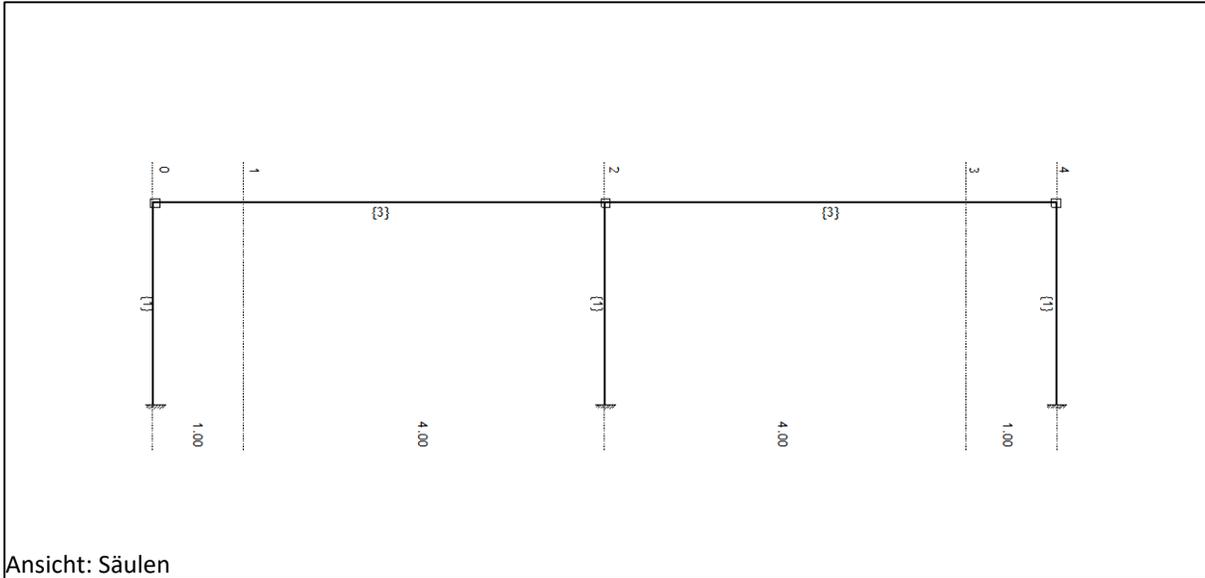
3. STATISCHE BERECHNUNG

Eingabedaten:









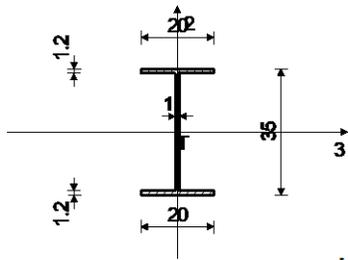
Materialtabelle

No	Der Name des Materials	E[kN/m ²]	μ	γ[kN/m ³]	αt[1/C]	Em[kN/m ²]	μm
1	Stahl	2.100e+8	0.30	78.50	1.000e-5	2.100e+8	0.30

Balkensätze

Satz: 1 Abschnitt: I 20/35, Fiktive Exzentrizität

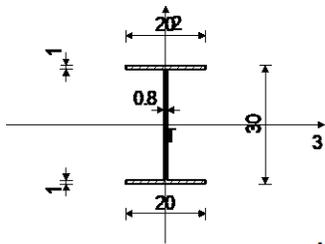
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
2 - Stahl	8.060e-3	3.437e-3	4.395e-3	3.391e-7	1.603e-5	1.660e-4



[cm]

Satz: 2 Abschnitt: I 20/30, Fiktive Exzentrizität

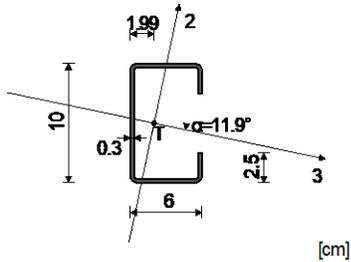
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
2 - Stahl	6.240e-3	2.367e-3	3.590e-3	1.811e-7	1.335e-5	9.877e-5



[cm]

Set: 3 Abschnitt: HOP C 100x60x25x3, Fiktive Exzentrizität

Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
2 - Stahl	7.508e-4	4.462e-4	3.638e-4	2.299e-9	4.327e-7	1.141e-6



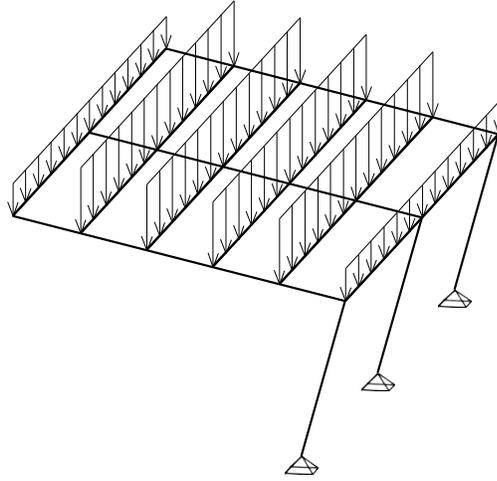
Set	K,R1	K,R2	K,R3	K,M1	K,M2	K,M3
1	1.000e+10	1.000e+10	1.000e+10	1.000e+10	1.000e+10	1.000e+10

Lasten:

Liste der Lastfälle

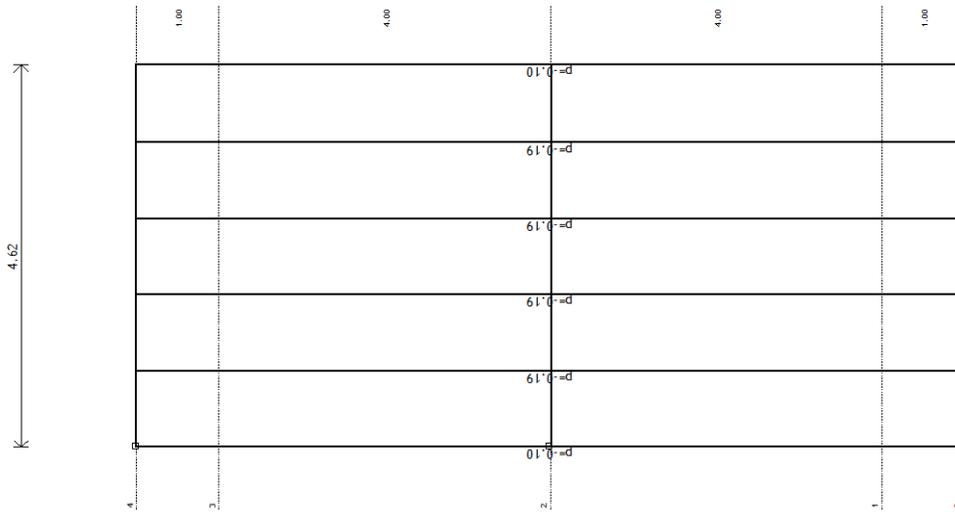
LC	Naziv	
1	Dauerhaft (g)	Lastfälle
2	Nützlich	
3	Schnee	
4	Wind-X-Richtung – Druck	
5	Wind X-Richtung – weht	
6	Wind-Y-Richtung – Druck	
7	Seismische X-Richtung	
8	Seismische Y-Richtung	
9	Komb.: 1.35xI	ULS
10	Komb.: 1.35xI+1.35xII	
11	Komb.: 1.35xI+1.5xIII+0.9xIV	
12	Komb.: 1.35xI+1.5xIII+0.9xV	
13	Komb.: I+1.5xV	
14	Komb.: 1.35xI+0.75xIII+1.5xIV	
15	Komb.: 1.35xI+1.5xIII+0.9xVI	
16	Komb.: 1.35xI+0.75xIII+1.5xVI	
17	Komb.: I+VII+0.3xVIII	
18	Komb.: I+VII-0.3xVIII	
19	Komb.: I+0.3xVII+VIII	
20	Komb.: I-0.3xVII+VIII	
21	Komb.: I+0.6xII (kvazi-stalno) (I+0.6xII)	SLS-Quasi-permanent
22	Komb.: I+II	SLS-Merkmalskombination
23	Komb.: I+III+0.6xIV	
24	Komb.: I+0.5xIII+IV	
25	Komb.: I+V	
26	Komb.: I+0.5xIII+VI	
27	Komb.: I+III+0.6xVI	

Opt. 1: Permanent (g)



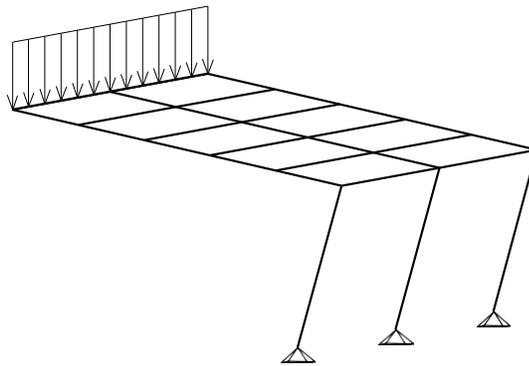
Isometrie

Opt. 1: Ständig



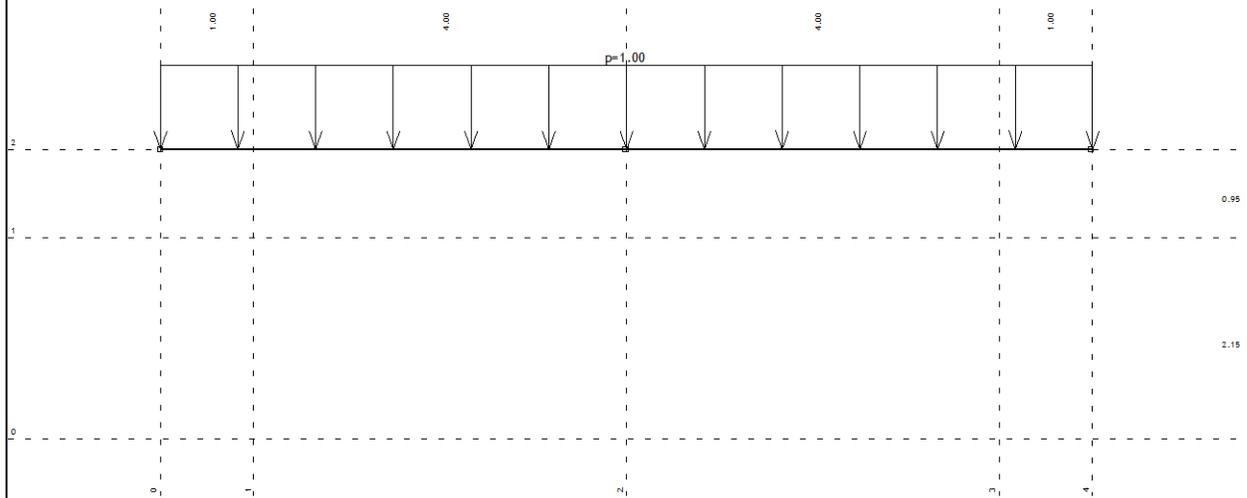
Ansicht: Dachebene

Opt. 2: Nützlich



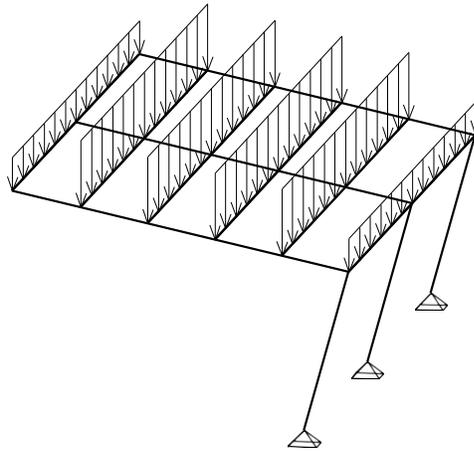
Isometrie

Option 2: Nützlich



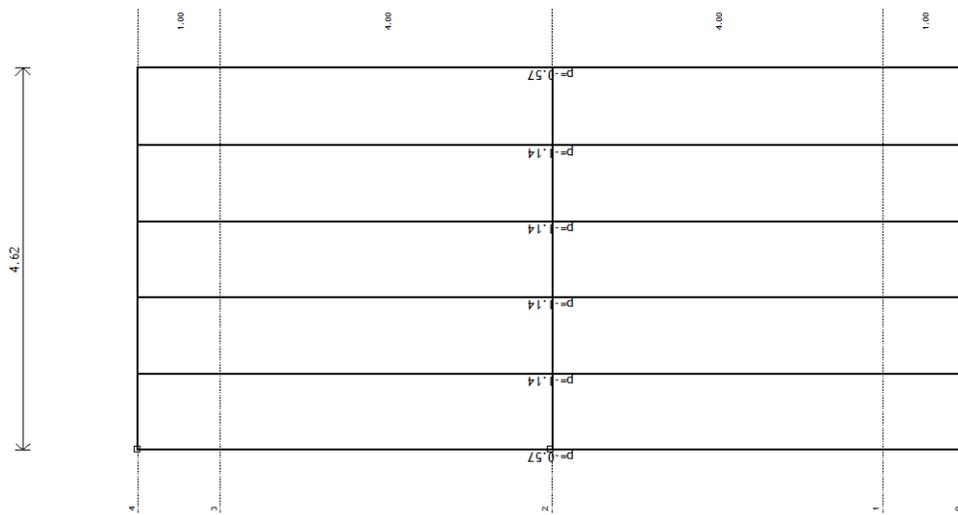
Ram: V_2

Opt. 3: Schleichen



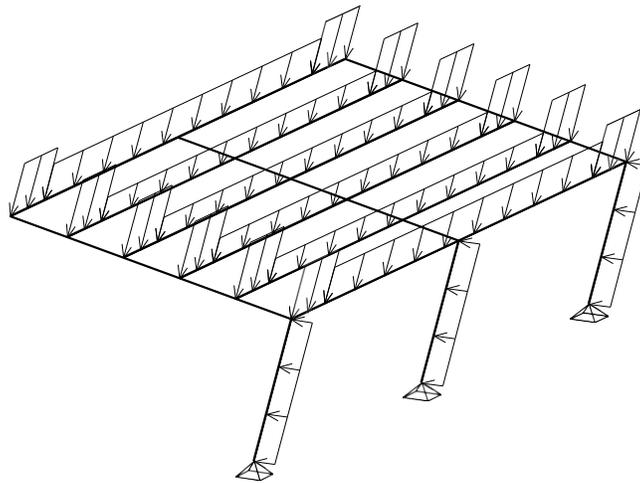
Isometrie

Opt. 3: Schleichen



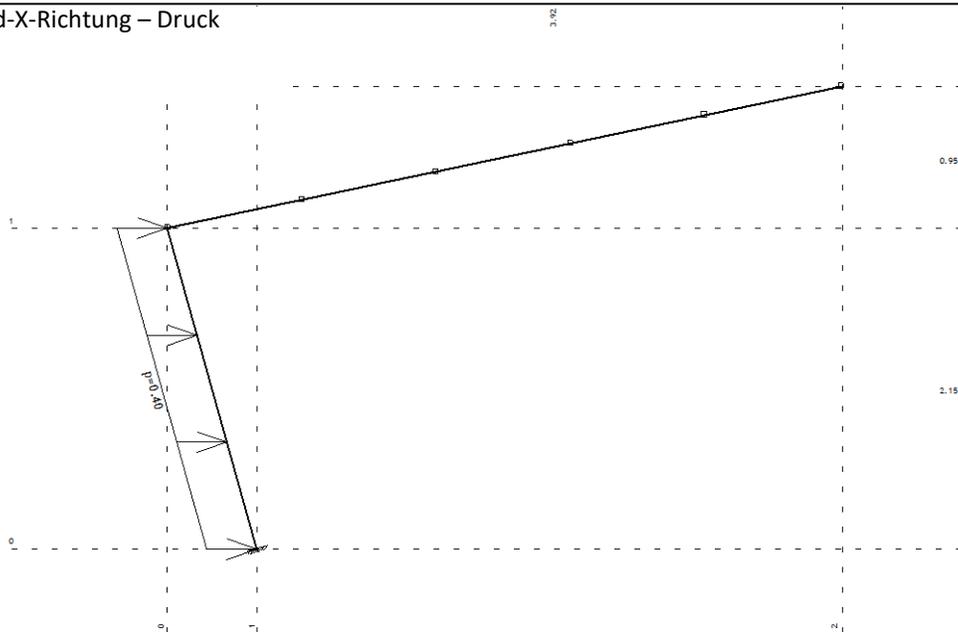
Ansicht: Dachebene

Opt. 4: Wind-X-Richtung – Druck



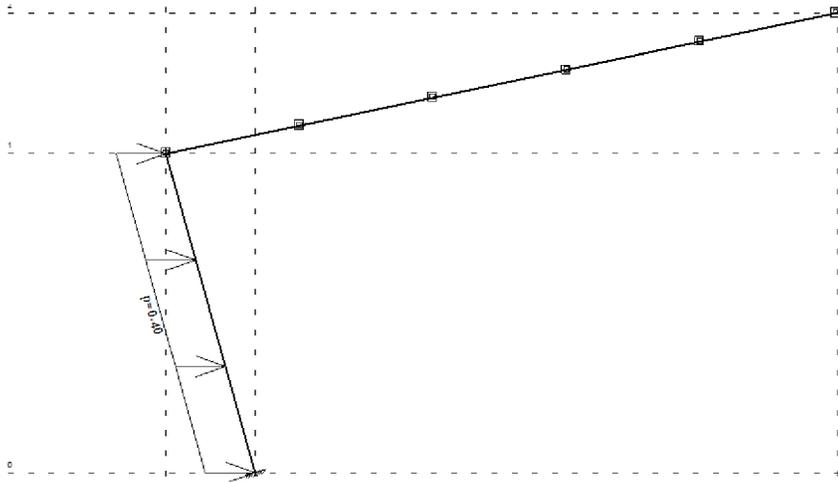
Isometrie

Opt. 4: Wind-X-Richtung – Druck



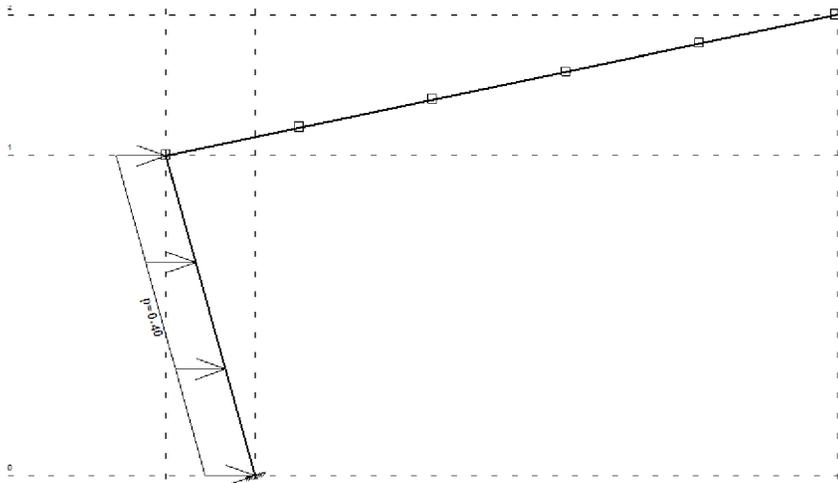
Ram: H_1

Opt. 4: Wind-X-Richtung – Druck



Ram: H 2

Opt. 4: Wind-X-Richtung – Druck

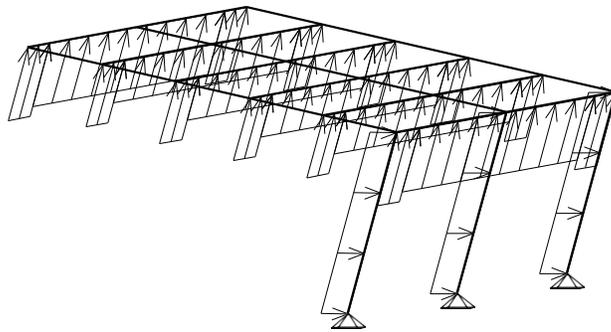


Opt. 4: Wind-X-Richtung – Druck



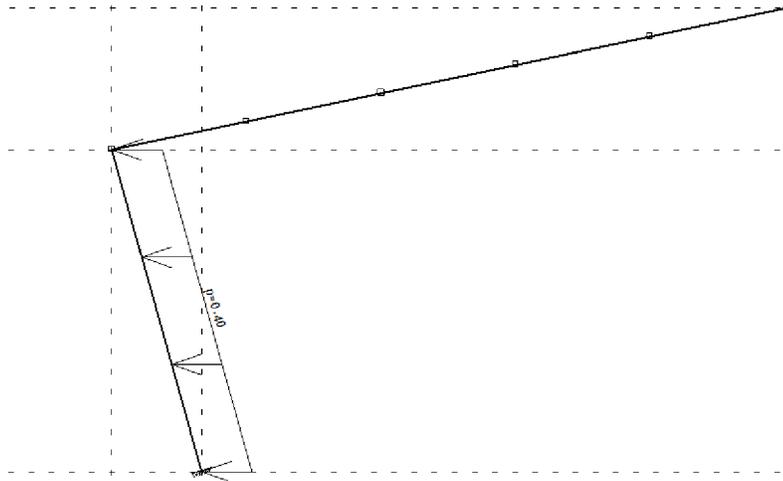
Pogled: Krovna ravan

Opt. 5: Vetar X pravac -sišučé



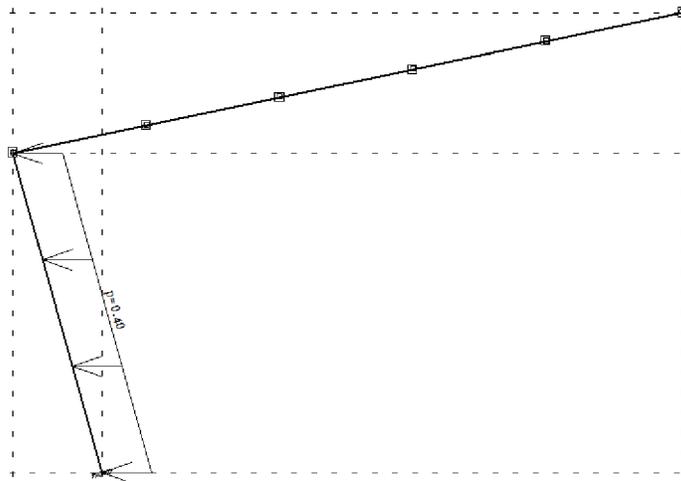
Izometrija

Opt. 5: Windrichtung H – Trocken



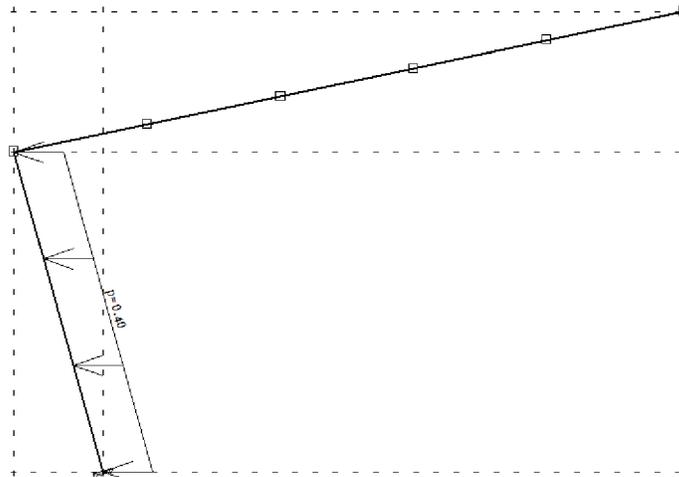
Ram:H_1

Opt. 5: Windrichtung H – Trocken



Ram:H_2

Ansicht: Dachebene



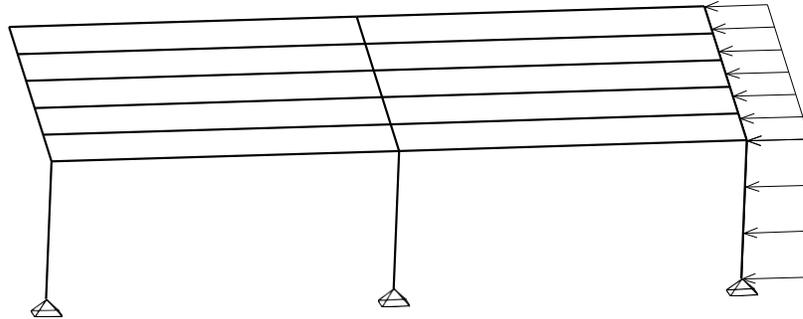
Ram:H_3

Opt. 5: Windrichtung H – Trocken

g	.	.	g
Lct-u		bl. -u	1n-u
9t-t+d		bl' -"	9n+d
9t-t+d		61' +d	9t'+d
9t-t+a		bl' +a	9t'+a
9t-t-o		bl' -o	9t'-o
l't-t+ll		bl' +u	l't'+ll

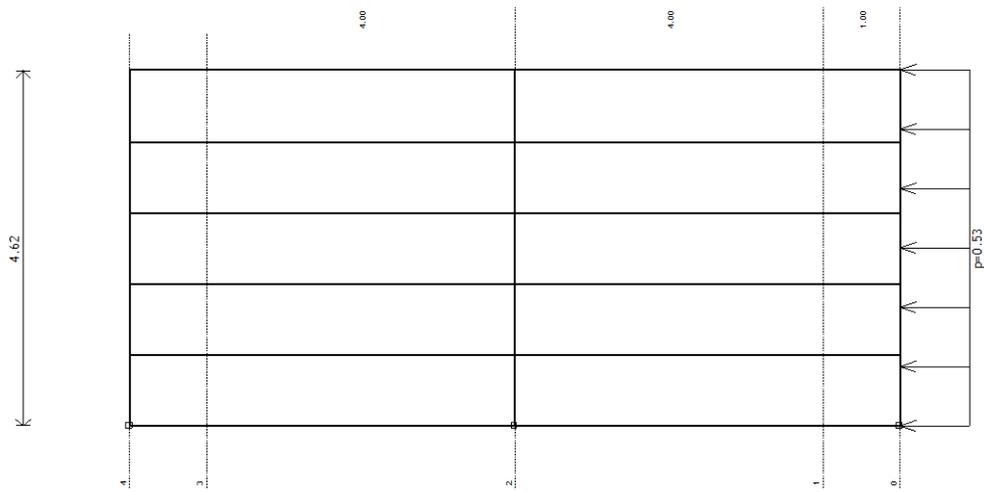
Ansicht: Dachebene

Opt. 6: Wind-Y-Richtung – Druck



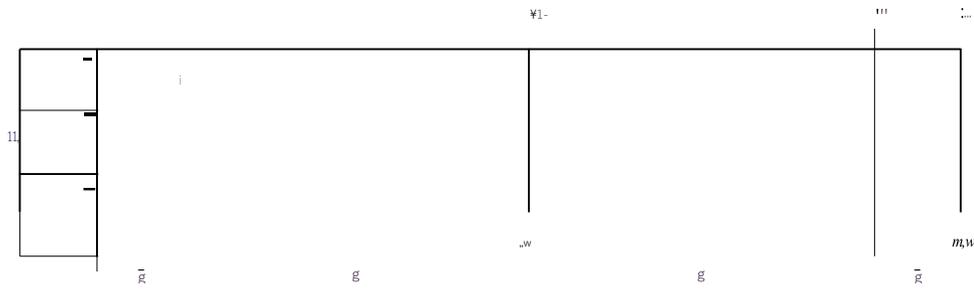
Izometrija

Opt. 6: Wind-Y-Richtung – Druck



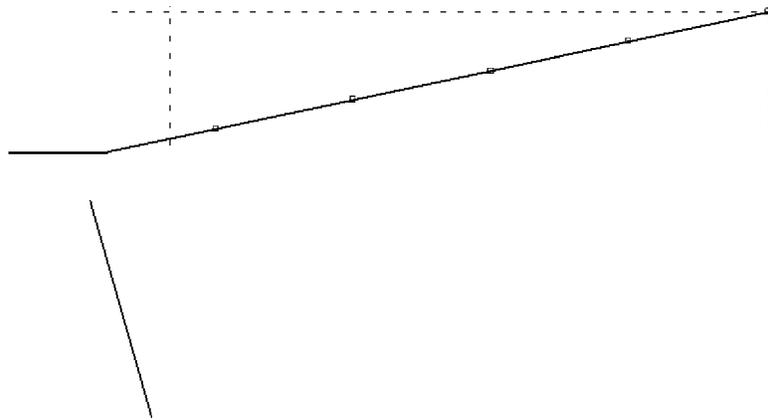
Ansicht: Spalten

Opt. 6: Wind-Y-Richtung – Druck



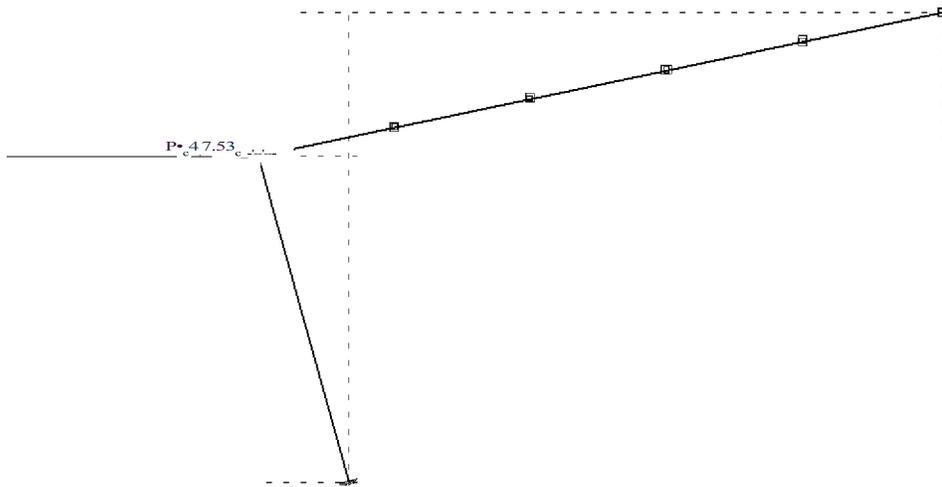
Ansicht: Spalten

Opt. 7: Seismische H-Richtung

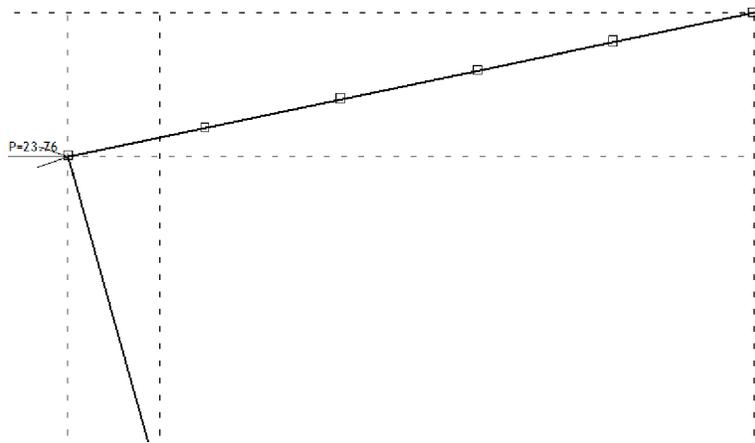


Rahmen: N 1

Opt. 7: Seismische X-Richtung

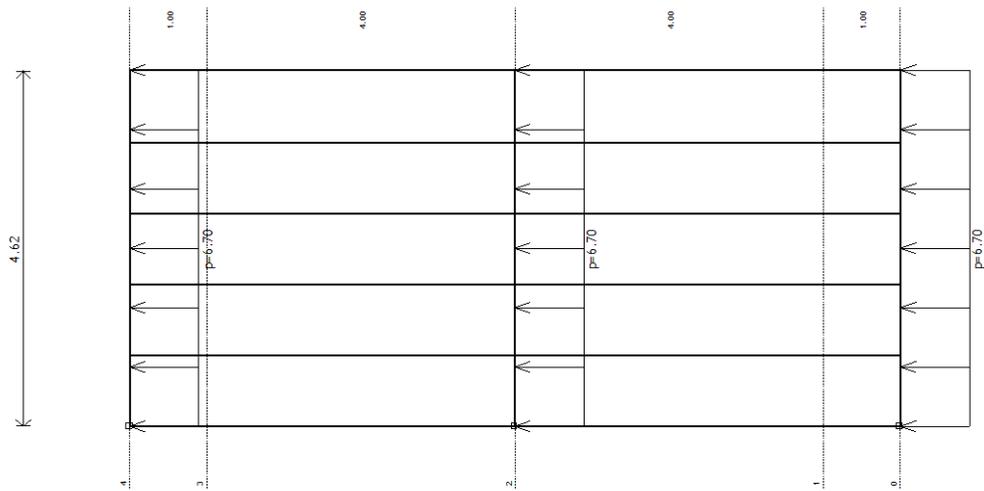


Opt. 7: Seismische X-Richtung



Ram: H 3

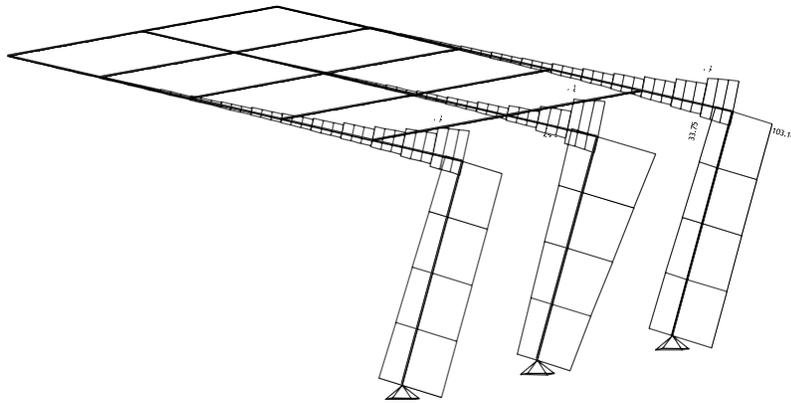
Opt. 8: Seismische Y-Richtung



Ansicht: Dachebene

Statische Einflüsse:

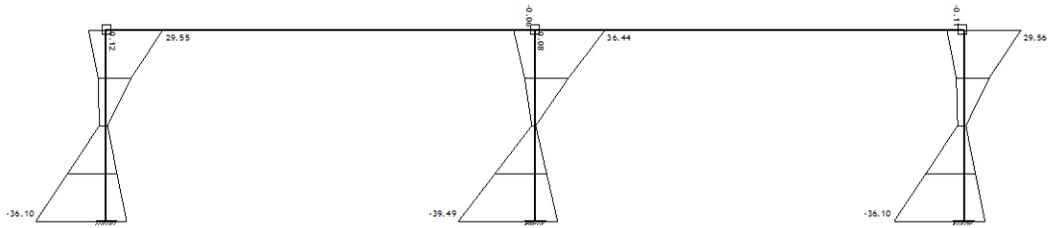
Opt. 28: [ULS] 9-20



Gruppe: Säulen

Einflüsse im Strahl: max M3= 150,79 / min M3= -88,53 kNm

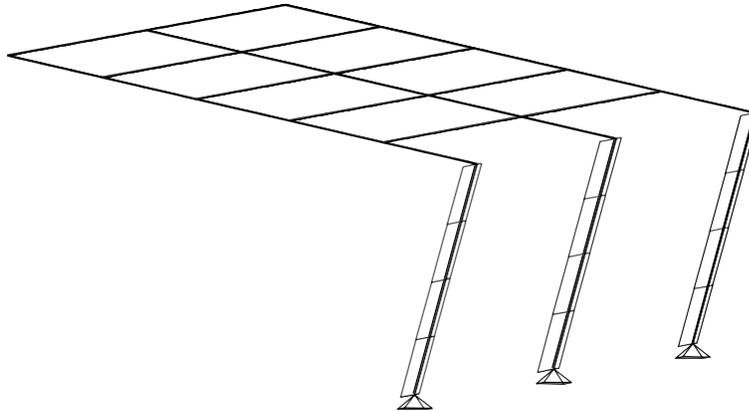
Opt. 28: [ULS] 9-20



Ansicht: Spalten

Einflüsse im Strahl: max $M_2 = 36,44$ / min $M_2 = -39,49$ kNm

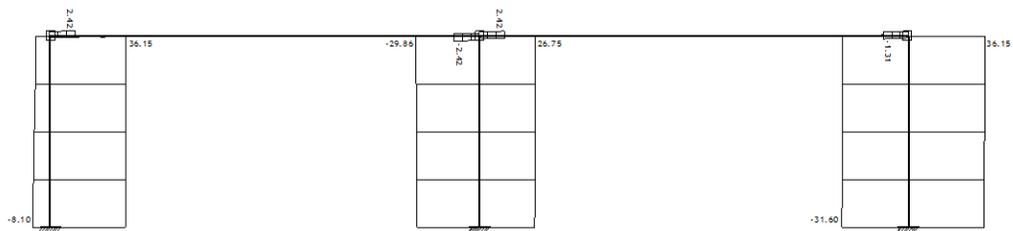
Opt. 28: [ULS] 9-20



Gruppe: Säulen

Stöße im Balken: max. $T_3 = 34,02$ / min. $T_3 = -10,21$ kN

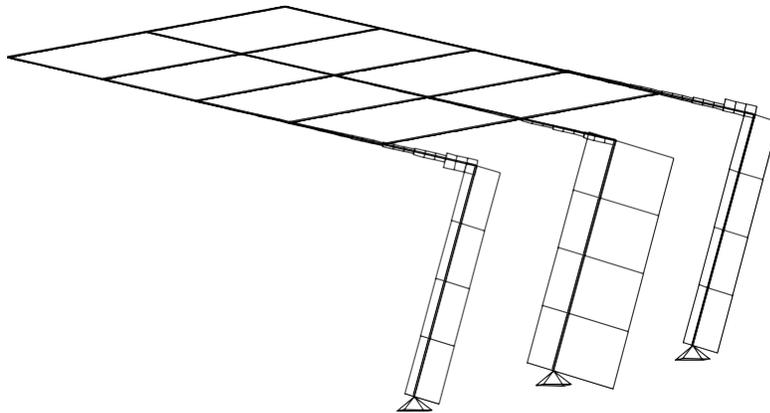
Opt. 28: [ULS] 9-20



Ansicht: Spalten

Effekte im Strahl: max T2= 36.15 / min T2= -31.60 kNm

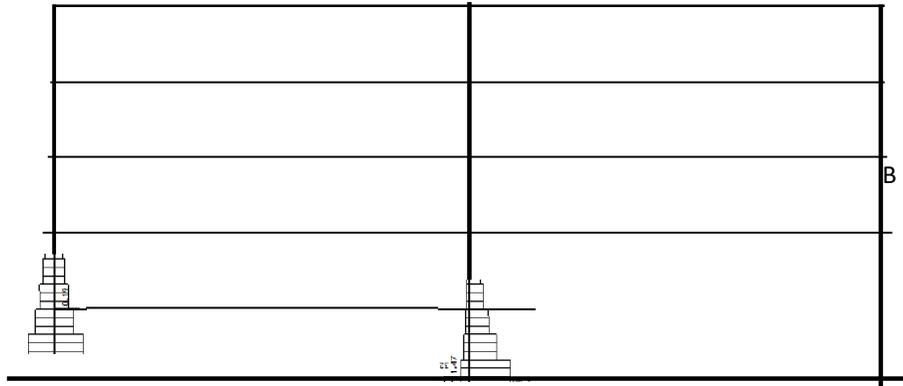
Opt. 28: [ULS] 9-20



Gruppe: Säulen

Stöße im Balken: max. N1= 39,89 / min. N1= -87,11 kN

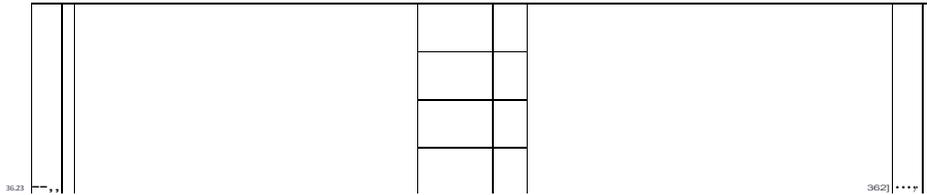
Opt. 28: (ULS) 9-20



Ansicht: Dachebene

Stöße im Balken: max. N1= 11,85 / min. N1= -12,31 kN

Opt. 28: (ULS) 9-20

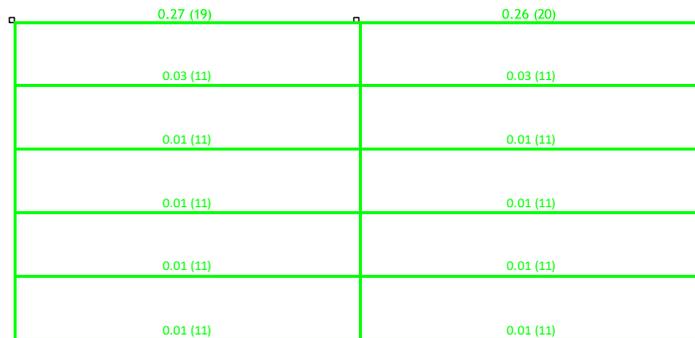


Ansicht: Säulen

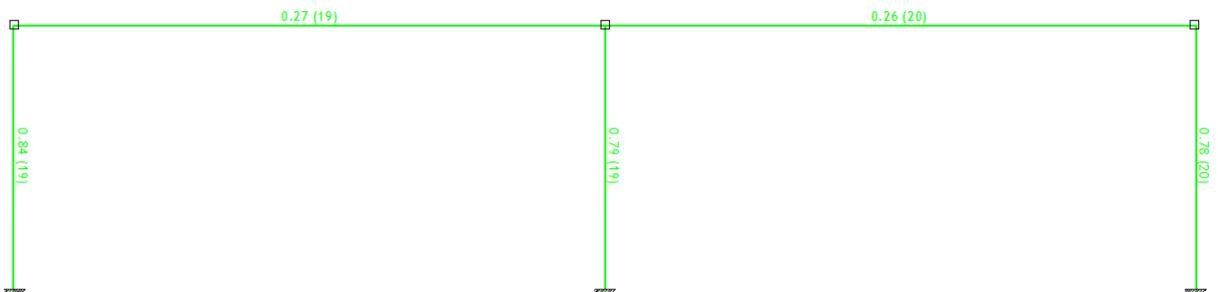
Stöße im Balken: max. N1= 39,89 / min. N1= -87,11 kN

4. DIMENSIONIERUNG

Spannungsregelung:

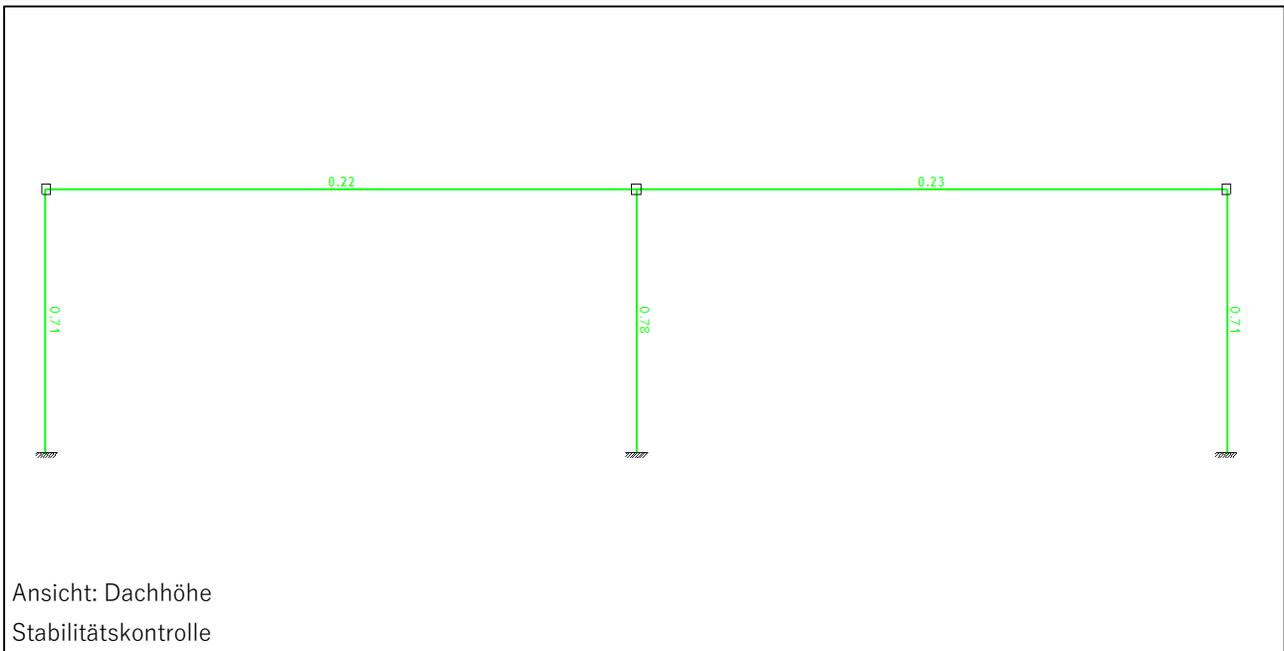
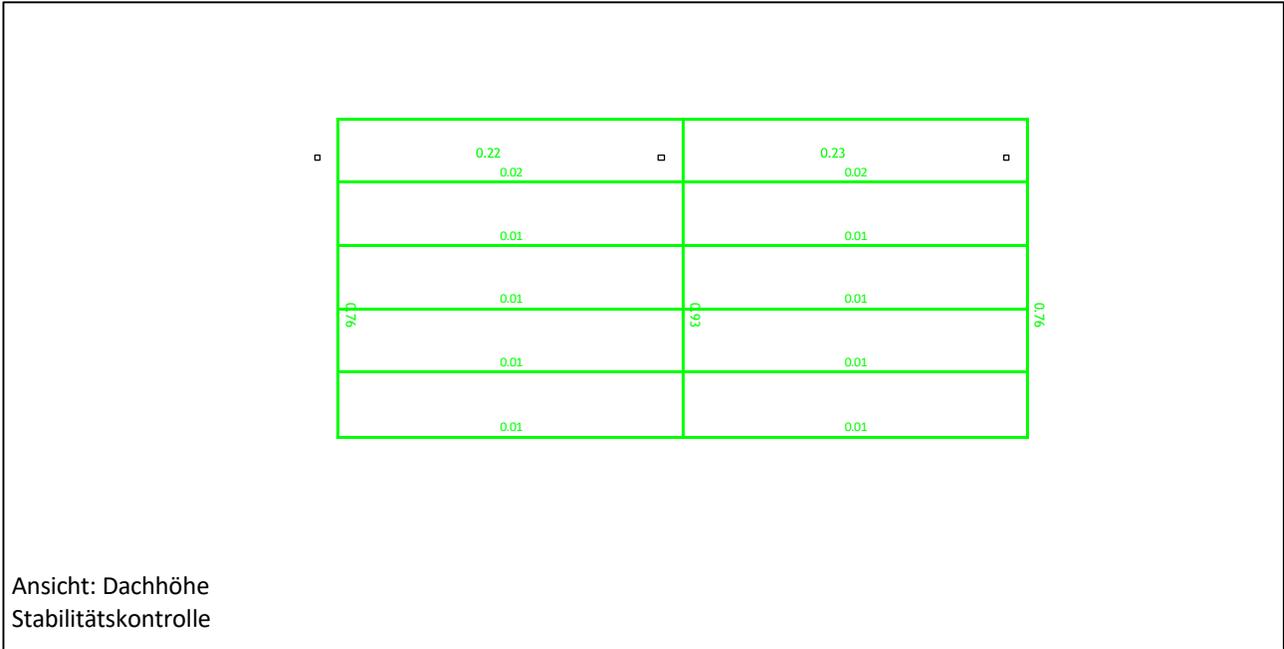


Ansicht: Dachebene
Spannungsregelung



Ansicht: Spalten
Spannungsregelung

Stabilitätskontrolle:



4.1 Hauptstütze – Auslegerüberstand

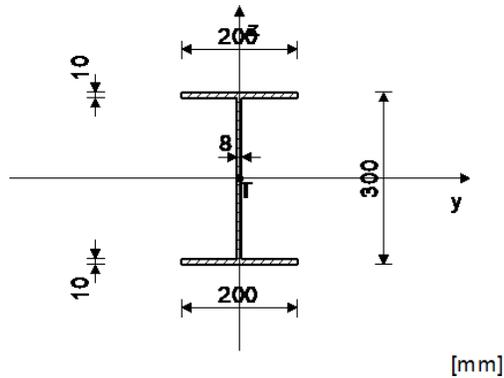
Maßgebliche Stocke:

STOCK 313-1021

QUERSCHNITT: I- Querschnitt [S 355] [Set: 2]

EUROCODE 3 (EN 1993-1-1:2005)

GEOMETRISCHE EIGENSCHAFTEN DER
ABSCHNITTE



$A_x = 62.400 \text{ cm}^2$
$A_y = 40.000 \text{ cm}^2$
$Z_a = 22.400 \text{ cm}^2$
$I_x = 18.112 \text{ cm}^4$
$I_y = 9876.8 \text{ cm}^4$
$I_z = 1334.5 \text{ cm}^4$
$W_y = 658.45 \text{ cm}^3$
$W_z = 133.45 \text{ cm}^3$
$W_{y,pl} = 736.80 \text{ cm}^3$
$W_{z,pl} = 200.00 \text{ cm}^3$
$\gamma_{M0} = 1.000$
$\gamma_{M1} = 1.000$
$\nu_{M2} = 1.250$

($f_y = 35.5 \text{ kN/cm}^2$, $f_u = 51.0 \text{ kN/cm}^2$)

AUSNUTZUNGSFAKTOREN NACH LASTKOMBINATIONEN

11. $\gamma=0.93$	14. $\gamma=0.85$	15. $\gamma=0.66$
23. $\gamma=0.63$	24. $\gamma=0.58$	27. $\gamma=0.45$
13. $\gamma=0.42$	16. $\gamma=0.41$	12. $\gamma=0.34$
10. $\gamma=0.32$	26. $\gamma=0.28$	25. $\gamma=0.24$
22. $\gamma=0.23$	21. $\gamma=0.19$	9. $\gamma=0.15$
19. $\gamma=0.12$	17. $\gamma=0.12$	18. $\gamma=0.12$
20. $\gamma=0.11$		

STANGE, DRUCK UND BIEGE AUSGESETZT (Lastfall 11, Stangenende)

Rechnerische Normalkraft
Querkraft in z-Richtung
Biegemoment um die y-
Achse Länge der
Systemstange

$N_{Ed} = -8.993 \text{ kN}$
 $V_{Ed,z} = 35.838 \text{ kN}$
 $M_{Ed,y} = -101.09 \text{ kNm}$
 $L = 461.88 \text{ cm}$

5.5 KLASSIFIZIERUNG DER QUERSCHNITTE

Abschnittsklasse 3

6.2 TRAGFÄHIGKEIT DER QUERSCHNITTE

6.2.4 Druck

Berechneter Druckwiderstand

$N_{c,Rd} = 2215.2 \text{ kN}$

Voraussetzung 6.9: $N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$ (8.99 \leq 2215.20)

6.2.5 Biegen y-y

Auch Löcher für Verbindungsmittel werden berücksichtigt.

Effektives Widerstandsmoment

$W_{y,eff} = 541.16 \text{ cm}^3$

Berechneter Biegezugwiderstand

$M_{c,Rd} = 192.11 \text{ kNm}$

Voraussetzung 6.12: $M_{Ed,y} \leq M_{c,Rd,y}$ (101.09 \leq 192.11)

6.2.6 Scherung

Bemessungsscherkapazität

$V_{pl,Rd,z} = 459.11 \text{ kN}$

Bemessungsscherkapazität

$V_{c,Rd,z} = 459.11 \text{ kN}$

Zustand 6.17: $V_{Ed,z} \leq V_{c,Rd,z}$ (35.84 \leq 459.11)

6.2.10 Biegeschub und Normalkraft Eine Reduzierung der Widerstandsmomente ist nicht erforderlich

Zustand: $V_{Ed,z} \leq 50\%V_{pl,Rd,z}$

6.2.9 Biegung und Axialkraft **Zustand 6.42: (0.42 \leq 1)**

6.3 LAGERLAGERELEMENTE

6.3.1.1 Knickfähigkeit

Knicklänge y-y

$l_{y} = 923.75 \text{ cm}$

Relativ dünn y-y

$A_{y} = 0.96$

Knickkurve für Achse y-y: A

$a = 0.21$

Elastische kritische Kraft

$N_{cr,y} = 2399.0 \text{ kN}$

Reduktionskoeffizient

$\chi_{y} = 0.69$

Berechneter Knickwiderstand

$N_{b,Rd,y} = 1534.6 \text{ kN}$

Zustand 6.46: $N_{Ed} \leq N_{b,Rd,y}$ (8.99 \leq 1534.60)

Knicklänge z-z

$l_{z} = 92.000 \text{ cm}$

Relativ dünn z-z

$A_{z} = 0.26$

Knickkurve für die Z-Achse -z: B

$a = 0.34$

Reduktionskoeffizient

$\chi_{z} = 0.97$

Berechneter Knickwiderstand

$N_{b,Rd,z} = 2167.6 \text{ kN}$

Zustand 6.46: $N_{Ed} \leq N_{b,Rd,z}$ (8.99 \leq 2167.56)

Koeffizient	C1 = 1.132
Koeffizient	C2 = 0.459
Koeffizient	C3 = 0.525
Koeffizient.Effektlänge der seitlichen Knickung	k = 1.000
Koeffizient.Wirkungslänge der Torsionsverdrehung	kw = 1.000
Koordinieren	zg = 15.000 cm
Koordinieren	zj = 0.000 cm
Abstand seitlich gehaltener Punkte	L = 461.88 cm
Sektorales Trägheitsmoment	Iw = 2.80e+cm6
	ϵ
Krit.mom.für seitliches Tor.biegen	Mcr = 181.38 kNm
Entsprechendes Widerstandsmoment	Wy = 658.45 cm3
Koeffizient imperf.	aLT = 0.490
Dimensionslose Schlankheit	ALT = 1.135
Reduktionskoeffizient (6.3.2.2.)	XLT = 0.466
Berechneter Knickwiderstand	Mb,Rd = 108.89 kNm
6.3.2.1 Biegedrillknickfähigkeit	
Zustand 6.54: MEd,y <= Mb,Rd (101.09 <= 108.89)	

6.3.3 Elemente mit konstantem Querschnitt, die auf Biegung und axialen Druck beansprucht werden

Die Berechnung der Interaktionskoeffizienten wurde mit der alternativen Methode Nr. 2 durchgeführt (Annektieren B)

Koeffizient des gleichmäßigen Moments	Cmy = 0.400
Koeffizient des gleichmäßigen Moments	Cmz = 1.000
Koeffizient des gleichmäßigen Moments	CmLT = 0.400

Interaktionskoeffizient	kyy = 0.401
Interaktionskoeffizient	kyz = 1.001
Interaktionskoeffizient	kzy = 1.000
Interaktionskoeffizient	kzz = 1.001

Reduktionskoeffizient	Xy = 0.693
NEd / (xy NRk / γM1)	0.006
kyy * (MyEd + AMyEd) / ... Uslov 6.61: (0.38 <= 1)	0.373

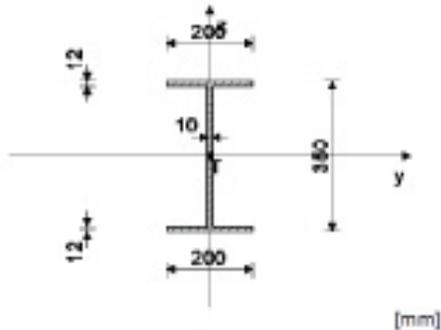
Reduktionskoeffizient	Xz = 0.978
NEd / (xz NRk / γM1)	0.004
kzy * (MyEd + AMyEd) / ... Uslov 6.62: (0.93 <= 1)	0.928

4.2 Hauptstütze - Säule

STAP 313-155

QUERSCHNITT: I-Abschnitt [S 355] [Set: 1] EUROCODE 3 (EN 1993-1-1:2005)

GEOMETRISCHE EIGENSCHAFTEN DER ABSCHNITTE



$A_x = 80.600 \text{ cm}^2$
 $A_y = 48.000 \text{ cm}^2$
 $A_z = 32.600 \text{ cm}^2$
 $I_x = 33.907 \text{ cm}^4$
 $I_y = 16602 \text{ cm}^4$
 $I_z = 1602.7 \text{ cm}^4$
 $W_y = 948.70 \text{ cm}^3$
 $W_z = 160.27 \text{ cm}^3$
 $W_{y,pl} = 1076.9 \text{ cm}^3$
 $W_{z,pl} = 240.00 \text{ cm}^3$
 $\gamma_{M0} = 1.000$
 $\gamma_{M1} = 1.000$
 $\gamma_{M2} = 1.250$
 $A_{net}/A = 0.900$

($f_y = 35.5 \text{ kN/cm}^2$, $f_u = 51.0 \text{ kN/cm}^2$)

AUSNUTZUNGSFAKTOREN NACH LASTKOMBINATIONEN

19. $\gamma=0.78$	20. $\gamma=0.78$	11. $\gamma=0.56$
14. $\gamma=0.51$	15. $\gamma=0.40$	23. $\gamma=0.38$
24. $\gamma=0.35$	17. $\gamma=0.31$	18. $\gamma=0.31$
27. $\gamma=0.27$	13. $\gamma=0.25$	16. $\gamma=0.25$
12. $\gamma=0.21$	10. $\gamma=0.19$	26. $\gamma=0.17$
25. $\gamma=0.14$	22. $\gamma=0.14$	21.
9. $\gamma=0.09$		$\gamma=0.11$

STANGE IST DRUCK UND BIEGE AUSGESETZT
(Lastfall 19, Stabanfang)

Rechnerische Normalkraft	$N_{Ed} = -14.626 \text{ kN}$
Querkraft in y-Richtung	$V_{Ed,y} = 34.203 \text{ kN}$
Querkraft in z-Richtung	$V_{Ed,z} = 4.908 \text{ kN}$
Biegemoment um die y-Achse	$M_{Ed,y} = 29.680 \text{ kNm}$
Biegemoment um die z-Achse	$M_{Ed,z} = 39.960 \text{ kNm}$
Länge der Systemstange	$L = 223.22 \text{ cm}$

5.5 KLASSIFIZIERUNG DER QUERSCHNITTE

Abschnitt Klasse 1

6.2 TRAGFÄHIGKEIT DER QUERSCHNITTE

6.2.4 Druck

Berechneter Druckwiderstand $N_{c,Rd} = 2861.3 \text{ kN}$

Zustand 6.9: $N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$ (14.63 \leq 2861.30)

6.2.5 Biegen y-y

Auch Löcher für Verbindungsmittel werden berücksichtigt.

Effektives Widerstandsmoment $W_{y,eff} = 756.24 \text{ cm}^3$

Berechneter Biege­widerstand $M_{c,Rd} = 268.46 \text{ kNm}$

Zustand 6.12: $M_{Ed,y} \leq M_{c,Rd,y}$ (29.68 \leq 268.46)

6.2.5 Biegen z-z

Auch Löcher für Verbindungsmittel werden berücksichtigt.

Effektives Widerstandsmoment $W_{z,eff} = 144.81 \text{ cm}^3$

Berechneter Biege­widerstand $M_{c,Rd} = 51.409 \text{ kNm}$

Zustand 6.12: $M_{Ed,z} \leq M_{c,Rd,z}$ (39.96 \leq 51.41)

6.2.5 Scherung

Bemessungsscherkapazität $V_{pl,Rd,z} = 668.17 \text{ kN}$

Bemessungsscherkapazität $V_{c,Rd,z} = 668.17 \text{ kN}$

Zustand 6.17: $V_{Ed,z} \leq V_{c,Rd,z}$ (4.91 \leq 668.17)

Bemessungsscherkapazität $V_{pl,Rd,y} = 949.83 \text{ kN}$

Bemessungsscherkapazität $V_{c,Rd,y} = 949.83 \text{ kN}$

Zustand 6.17: $V_{Ed,y} \leq V_{c,Rd,y}$ (34.20 \leq 949.83)

6.2.10 Biegeschub und Axialkraft

Eine Reduzierung der Widerstandsmomente ist nicht erforderlich

Zustand: $V_{Ed,z} \leq 50\%V_{pl,Rd,z}$; $V_{Ed,y} \leq 50\%V_{pl,Rd,y}$

6.2.9 Biegung und Axialkraft

Beziehung $N_{Ed} / N_{pl,Rd}$ 0.005

Kunststoff mit geringem Drehmoment, biegeflexibel $MN_{z,Rd} = 85.200 \text{ kNm}$

Koeffizient $p = 1.000$
Beziehung $(M_{z,Ed} / MN_{z,Rd})^p$ 0.469

Zustand 6.41: (0.48 \leq 1)

6.3 TRAGKAPAZITÄT DER ELEMENTE AUF ROLLEN

6.3.1.1 Rollenfähigkeit

Knicklänge y-y	$l_y = 446.43 \text{ cm}$
Relativ dünn y-y	$A_y = 0.407$
Knickkurve für Achse y-y: A	$a = 0.210$
Elastische kritische Kraft	$N_{cr,y} = 17265 \text{ kN}$
Reduktionskoeffizient	$X_y = 0.951$
Berechneter Knickwiderstand	$N_{b,Rd,y} = 2720.8 \text{ kN}$
Zustand 6.46: $N_{Ed} \leq N_{b,Rd,y}$ (14.63 <=	2720.84)
Knicklänge z-z	$l_z = 446.43 \text{ cm}$
Relative Schlankheit z-z	$A_z = 1.310$
Knickkurve für Achse z-z: B	$a = 0.340$
Reduktionskoeffizient	$X_z = 0.422$
Berechneter Knickwiderstand	$N_{b,Rd,z} = 1207.4 \text{ kN}$
Zustand 6.46: $N_{Ed} \leq N_{b,Rd,z}$ (14.63 <=	1207.42)

6.3.2.1 Biegedrillknickfähigkeit

Koeffizient	$C_1 = 1.238$
Koeffizient	$C_2 = 0.000$
Koeffizient	$C_3 = 0.995$
Koeffizient.Effektlänge der seitlichen Knickung	$k = 1.000$

Koeffizient.Effektlänge der Torsion verdrehen	$k_w = 1.000$
Koordinieren	$z_g = 0.000 \text{ cm}$
Koordinieren	$z_j = 0.000 \text{ cm}$
Abstand seitlich gehaltener Punkte	$L = 223.22 \text{ cm}$
Sektorales Trägheitsmoment	$I_w = 4.57e+ \text{ cm}^6$
Krit.mom.für seitliches Tor.biegen	$M_{cr} = 1490.8 \text{ kNm}$
Entsprechendes Widerstandsmoment	$W_y = 1076.9 \text{ cm}^3$
Koeffizient imperf.	$a_{LT} = 0.490$
Dimensionslose Schlankheit	$AL_T = 0.506$
Reduktionskoeffizient (6.3.2.2.)	$X_{LT} = 0.839$
Berechneter Knickwiderstand	$M_{b,Rd} = 320.90 \text{ kNm}$
Bedingung 6.54: $M_{Ed,y} \leq M_{b,Rd}$: 320.90)	

6.3.3 Elemente mit konstantem Querschnitt belastet

Biegung und axialer Druck

Die Berechnung der Interaktionskoeffizienten erfolgte mit einer nach Methode Nr. 2 (Anhang B)

Koeffizient des gleichmäßigen	$C_{my} = 0.847$
Koeffizient des gleichmäßigen	$C_{mz} = 0.400$
Koeffizient des gleichmäßigen	$C_{mLT} = 0.847$
Interaktionskoeffizient	$k_{yy} = 0.848$
Interaktionskoeffizient	$k_{yz} = 0.244$
Interaktionskoeffizient	$k_{zy} = 0.998$
Interaktionskoeffizient	$k_{zz} = 0.407$

Reduktionskoeffizient	$X_y = 0.951$
$N_{Ed} / (X_y N_{Rk} / Y_{M1})$	0.005
$k_{yy} * (M_{yEd} + A_{MyEd}) / \dots$	0.078
$k_{yz} * (M_{zEd} + A_{MzEd}) / \dots$	0.114
Bedingung 6.61: $(0,20 \leq 1)$	

Reduktionskoeffizient	$X_z = 0.422$
$N_{Ed} / (X_z N_{Rk} / Y_{M1})$	0.012

$k_{zy} * (M_{yEd} + \Delta M_{yEd}) / \dots$
 $k_{zz} * (M_{zEd} + \Delta M_{zEd}) / \dots$
Bedingung 6.62: (0.30 <= 1)

0.092
 0.191

ÜBERPRÜFUNG DER SCHERFESTIGKEIT
 (Lastfall 11, Stangenende)

Berechnete Normalkraft $N_{Ed} = -85,226 \text{ kN}$
 Querkraft in z-Richtung $V_{Ed,z} = -29.712 \text{ kN}$
 Biegemoment um die y-Achse $M_{Ed,y} = 150,57 \text{ kNm}$
 Systemlänge der Stange $L = 223,22 \text{ cm}$

6.2 TRAGFÄHIGKEIT DER QUERSCHNITTE

6.2.6 Scherung

Bemessungstragfähigkeit bei $V_{pl,Rd,z} = 668,17 \text{ kN}$
 Scheren
 Bemessungstragfähigkeit bei $V_{c,Rd,z} = 668,17 \text{ kN}$
 Scheren

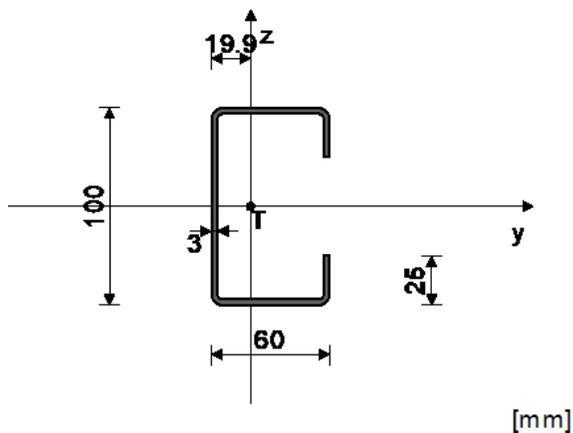
Bedingung 6.17: $V_{Ed,z} \leq V_{c,Rd,z}$ (29,71 <= 668,17)

4.3 Panel-Unterstützung

STANGE 961-313

QUERSCHNITT: HOP C 100x60x25x3 [S 355] [Set: 3] EUROCODE 3 (EN 1993-1-1:2005)

GEOMETRISCHE EIGENSCHAFTEN DES ABSCHNITTS



$A_x = 7.508 \text{ cm}^2$
 $A_y = 3.600 \text{ cm}^2$
 $A_z = 4.500 \text{ cm}^2$
 $I_x = 0.230 \text{ cm}^4$
 $I_y = 117.37 \text{ cm}^4$
 $I_z = 39.991 \text{ cm}^4$
 $W_y = 23.475 \text{ cm}^3$
 $W_z = 9.973 \text{ cm}^3$
 $W_{y,pl} = 28.839 \text{ cm}^3$
 $W_{z,pl} = 16.262 \text{ cm}^3$
 $\gamma_{M0} = 1.000$
 $\gamma_{M1} = 1.000$
 $\gamma_{M2} = 1.250$
 $A_{net}/A = 0.900$

($f_y = 35.5 \text{ kN/cm}^2$, $f_u = 51.0 \text{ kN/cm}^2$)

AUSNUTZUNGSFAKTOREN NACH LASTKOMBINATIONEN

19. $\gamma=0.23$	20. $\gamma=0.23$	11. $\gamma=0.09$
14. $\gamma=0.08$	17. $\gamma=0.07$	18. $\gamma=0.07$
15. $\gamma=0.07$	23. $\gamma=0.06$	24. $\gamma=0.05$
16. $\gamma=0.04$	27. $\gamma=0.04$	10. $\gamma=0.03$
13. $\gamma=0.03$	12. $\gamma=0.03$	26. $\gamma=0.03$
22. $\gamma=0.03$	21. $\gamma=0.02$	25. $\gamma=0.02$
9. $\gamma=0.01$		

STANGE, DIE DRUCK UND BIEGUNG BELASTET IST
(Lastfall 19, Stangenende)

Rechnerische Normalkraft	NEd = -2.307 kN
Querkraft in γ -Richtung	VEd, γ = 0.287 kN
Querkraft in z-Richtung	VEd,z = 3.187 kN
Biegemoment um die γ -Achse	MEd, γ = -1.798 kNm
Biegemoment um die z-Achse	MEd,z = -0.207 kNm
Länge der Systemstange	L = 500.00 cm

5.5 KLASIFIKACIJA POPREČNIH PRESEKA Klasa
preseka 1

6.2 NOSIVOST POPREČNIH PRESEKA

6.2.4 Pritisak

Računska otpornost na pritisak Nc,Rd = 266.54 kN

Uslov 6.9: NEd \leq Nc,Rd (2.31 \leq 266.54)

6.2.5 Savijanje γ - γ

Plastični otporni moment Wy,pl = 28.839 cm³
Računska otpornost na savijanje Mc,Rd = 10.238 kNm

Uslov 6.12: MEd, γ \leq Mc,Rd, γ (1.80 \leq 10.24)

6.2.5 Savijanje z-z

Plastični otporni moment Wz,pl = 16.262 cm³
Računska otpornost na savijanje Mc,Rd = 5.773 kNm

Uslov 6.12: MEd,z \leq Mc,Rd,z (0.21 \leq 5.77)

6.2.6 Smicanje

Proračunska nosivost na smicanje Vpl,Rd,z = 92.232 kN
Proračunska nosivost na smicanje Vc,Rd,z = 92.232 kN

Uslov 6.17: VEd,z \leq Vc,Rd,z (3.19 \leq 92.23)

Proračunska nosivost na smicanje Vpl,Rd, γ = 73.785 kN
Proračunska nosivost na smicanje Vc,Rd, γ = 73.785 kN

Uslov 6.17: $V_{Ed,y} \leq V_{c,Rd,y}$ (0.29 \leq 73.79)

6.2.10 Biege-, Scher- und Axialkraft

Eine Reduzierung des Widerstandsmomentes ist nicht erforderlich

6.2.10 Bedingung: $V_{Ed,z} \leq 50\%V_{pl,Rd,z}$; $V_{Ed,y} \leq 50\%V_{pl,Rd,y}$

6.2.9 Beziehung zwischen
Biegung und Axialkraft $N_{Ed} /$
 $N_{pl,Rd}$ Reduziertes
plastisches Moment zur
Biegung

0.009

$MN_{y,Rd} = 10.237 \text{ kNm}$ 0.176

$MN_{z,Rd} = 5.772 \text{ kNm}$ 0.036

Verhältnis $M_{Ed,y} / MN_{y,Rd}$
Reduktionsmoment von
Kunststoff auf Biegung
Beziehung $M_{Ed,z} / MN_{z,Rd}$
Bedingung 6.41: (0,21 \leq 1)

6.3 LAGERUNG LAGERUNG VON ELEMENTEN

6.3.1.1 Knickfähigkeit

Knicklänge y-y

$l_y = 500.00 \text{ cm}$

Relative Spulenheit y-y
Knickkurve für die y-y-Achse: C
Elastische kritische Kraft
Reduktionskoeffizient
Berechneter Knickwiderstand

$\lambda_y = 1.655$
 $\alpha = 0.490$
 $N_{cr,y} = 97.309 \text{ kN}$
 $\chi_y = 0.269$
 $N_{b,Rd,y} = 71.753 \text{ kN}$

Zustand 6.46: $N_{Ed} \leq N_{b,Rd,y}$ (2.31 \leq 71.75)

Knicklänge z-z
Relative Schlankheit z-z
Knickkurve für die Z-Z-Achse: C
Reduktionskoeffizient
Berechneter Knickwiderstand

$l_z = 100.00 \text{ cm}$
 $\lambda_z = 0.567$
 $\alpha = 0.490$
 $\chi_z = 0.805$
 $N_{b,Rd,z} = 214.49 \text{ kN}$

Zustand 6.46: $N_{Ed} \leq N_{b,Rd,z}$ (2.31 \leq 214.49)

6.3.2.1 Biegedrillknickfähigkeit

Koeffizient	$C1 = 1.132$
Koeffizient	$C2 = 0.459$
Koeffizient	$C3 = 0.525$
Koeffizient.Effektlänge der seitlichen	$k = 1.000$
Koeffizient.Wirkungslänge der	$k_w = 1.000$
Koordiniert	$z_g = 0.000 \text{ cm}$
Koordiniert	$z_j = 0.000 \text{ cm}$
Abstand seitlich gehaltener Punkte	$L = 100.00 \text{ cm}$
Sektorales Trägheitsmoment	$I_w = 1780.3 \text{ cm}^6$
Kritisches Moment für Biegedrillknicken	$M_{cr} = 64.158 \text{ kNm}$
Entsprechendes Widerstandsmoment	$W_y = 28.839 \text{ cm}^3$
Kuficijent ungezähnt.	$\alpha_{LT} = 0.760$
Dimensionslose Schlankheit	$\lambda_{LT} = 0.399$
Reduktionskoeffizient (6.3.2.2.)	$X_{LT} = 0.851$
Berechneter Knickwiderstand	$M_{b,Rd} = 8.710 \text{ kNm}$

Bedingung 6.54 $M_{ed,y} \leq M_{b,Rd}$ ($1.80 \leq 8,71$)

6.3.3 Elemente mit konstantem Querschnitt, die durch Biegung und Axialdruck belastet werden

Die Wechselwirkungskoeffizienten wurden mit der alternativen Methode Nr. 2 (Anhang B) berechnet.

Koeffizient des gleichmäßigen Moments	$C_{my} = 0.400$
Koeffizient des gleichmäßigen Moments	$C_{mz} = 0.400$
Koeffizient des gleichmäßigen Moments	$C_{mLT} = 0.400$

Interaktionskoeffizient	$k_{yy} = 0.410$
Interaktionskoeffizient	$k_{yz} = 0.241$
Interaktionskoeffizient	$k_{zy} = 0.996$
Interaktionskoeffizient	$k_{zz} = 0.402$

Reduktionskoeffizient	$X_y = 0.269$
$N_{Ed} / (x_y N_{Rk} / \gamma_{M1})$	0.032
$k_{yy} * (M_{yEd} + A M_{yEd}) / \dots$	0.085
$k_{yz} * (M_{zEd} + A M_{zEd}) / \dots$	0.009

Zustand 6.61: ($0.13 \leq 1$)

Reduktionskoeffizient	$X_z = 0.805$
$N_{Ed} / (x_z N_{Rk} / \gamma_{M1})$	0.011
$k_{zy} * (M_{yEd} + A M_{yEd}) / \dots$	0.206
$k_{zz} * (M_{zEd} + A M_{zEd}) / \dots$	0.014

Bedingung 6.62: ($0.23 \leq 1$)

ÜBERPRÜFUNG DER SCHERFESTIGKEIT (Lastfall 20, Stabende)

Rechnungs-Normalkraft	$N_{Ed} = -2.145$ kN
Querkraft in y-Richtung	$V_{Ed,y} = 0.295$ kN
Querkraft in z-Richtung	$V_{Ed,z} = 3.189$ kN
Biegemoment um die y-Achse	$M_{Ed,y} = -1.798$ kNm
Biegemoment um die z-Achse	$M_{Ed,z} = -0.207$ kNm
Länge der Systemstange	$L = 500.00$ cm

6.2 TRAGFÄHIGKEIT DER QUERSCHNITTE

6.2.6 Schleudern

Bemessungsscherkapazität $V_{pl,Rd,z} = 92.232$ kN

Bemessungsscherkapazität $V_{c,Rd,z} = 92.232$ kN

Bedingung 6.17: $V_{Ed,z} \leq V_{c,Rd,z}$ (3.19 \leq 92.23)

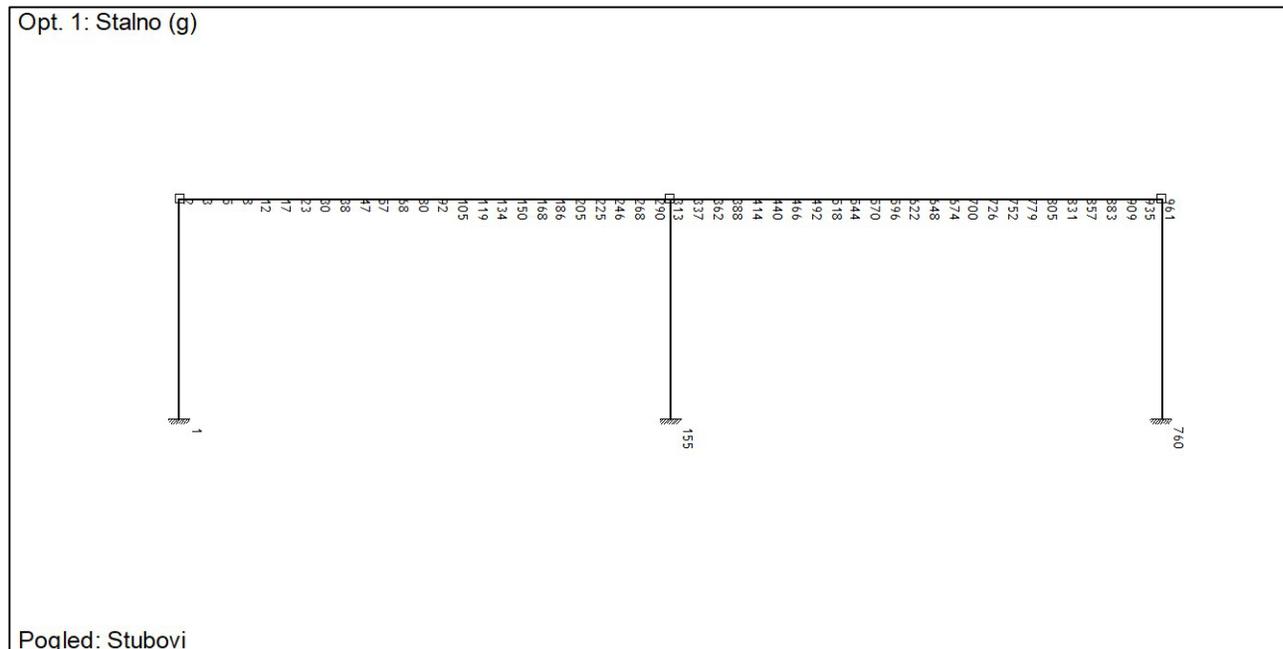
Bemessungsscherkapazität $V_{pl,Rd,y} = 73.785$ kN

Bemessungsscherkapazität $V_{c,Rd,y} = 73.785$ kN

Bedingung 6.17: $V_{Ed,y} \leq V_{c,Rd,y}$ (0.30 \leq 73.79)

Reaktionen von Stützen zur Fundamentberechnung:

Die Einflüsse in den Stützen werden anhand der folgenden Tabellen für jede der betrachteten Lastkombinationen dargestellt. Die Markierung der Stützen erfolgt über die angezeigten Knotennummern aus dem 3D-Modell (1, 155 und 760). Im Bericht des Programms werden die Reaktionen im globalen Koordinatensystem dargestellt, so dass den lokalen Achsen des Querschnitts der Stützen in Aufspannung entsprechen: 1 → Z, 2 → Y und 3 → X. Am Ende werden die Extremwerte der Reaktionen der Stützen für jeden der Stöße entsprechend den ULS- und SLS-Hüllkurven der Lastkombinationen angezeigt.



Einflüsse in Punktlagern – Extremwerte – Belastung: 9-20-ULS

Oznaka	S.O.	R1 [kN]	R2 [kN]	R3 [kN]	M1 [kNm]	M2 [kNm]	M3 [kNm]
760	20	+27.207	-29.297	20.083	35.011	45.429	9.765
760	13	+11.457	0.189	-11.048	-0.127	61.624	-0.035
1	13	+11.457	-0.189	-11.048	0.127	61.624	0.035
155	20	+10.978	-34.203	10.926	38.490	11.345	10.736
155	12	+9.244	0.000	37.016	0.000	-14.990	0.000
760	19	+8.510	-29.291	19.162	35.002	4.634	9.762
155	15	+7.011	-0.988	67.540	1.113	-52.288	0.311
155	11	+4.907	0.000	91.982	0.000	-84.536	0.000
155	13	+4.892	0.000	-39.087	0.000	52.989	0.000
155	16	+4.295	-1.647	41.724	1.855	-32.337	0.518
760	18	-37.272	8.827	0.517	-10.537	-90.046	-2.939
1	17	-37.272	-8.827	0.517	10.537	-90.046	2.939
155	18	-31.568	10.261	14.918	-11.547	-77.543	-3.221
155	17	-31.568	-10.261	14.918	11.547	-77.543	3.221
1	19	-28.366	-29.342	-7.870	35.043	-67.806	9.774
1	18	-26.210	8.763	8.626	-10.476	-68.314	-2.922
760	17	-26.210	-8.763	8.626	10.476	-68.314	2.922
760	14	-12.548	-0.157	32.736	0.105	-102.49	0.029
1	14	-12.548	0.157	32.736	-0.105	-102.49	-0.029

760	11	-9.745	-0.188	34.810	0.128	-103.03	0.036
155	18	-31.568	+10.261	14.918	-11.547	-77.543	-3.221
760	18	-37.272	+8.827	0.517	-10.537	-90.046	-2.939
1	18	-26.210	+8.763	8.626	-10.476	-68.314	-2.922
760	10	-1.911	+0.230	10.643	-0.164	-33.779	-0.046
760	13	11.457	+0.189	-11.048	-0.127	61.624	-0.035
1	11	-9.745	+0.188	34.810	-0.128	-103.03	-0.036
1	14	-12.548	+0.157	32.736	-0.105	-102.49	-0.029
760	9	-0.783	+0.031	8.244	-0.022	-15.105	0.000
1	12	3.720	+0.020	14.910	-0.017	-22.114	0.000
155	20	10.978	-34.203	10.926	38.490	11.345	10.736
155	19	-8.659	-34.203	12.768	38.490	-29.680	10.736
1	19	-28.366	-29.342	-7.870	35.043	-67.806	9.774
1	20	-9.669	-29.337	-6.949	35.035	-27.012	9.771
760	20	27.207	-29.297	20.083	35.011	45.429	9.765
760	19	8.510	-29.291	19.162	35.002	4.634	9.762
155	17	-31.568	-10.261	14.918	11.547	-77.543	3.221
1	17	-37.272	-8.827	0.517	10.537	-90.046	2.939
760	17	-26.210	-8.763	8.626	10.476	-68.314	2.922
1	16	-2.860	-2.338	16.161	2.036	-41.884	0.568
155	11	4.907	0.000	+91.982	0.000	-84.536	0.000
155	14	0.788	0.000	+82.461	0.000	-86.084	0.000
155	15	7.011	-0.988	+67.540	1.113	-52.288	0.311
155	16	4.295	-1.647	+41.724	1.855	-32.337	0.518
155	12	9.244	0.000	+37.016	0.000	-14.990	0.000
760	11	-9.745	-0.188	+34.810	0.128	-103.03	0.036
1	11	-9.745	0.188	+34.810	-0.128	-103.03	-0.036
760	14	-12.548	-0.157	+32.736	0.105	-102.49	0.029
1	14	-12.548	0.157	+32.736	-0.105	-102.49	-0.029
760	15	-3.078	-0.970	+25.577	1.099	-64.939	0.307
155	13	4.892	0.000	-39.087	0.000	52.989	0.000
760	13	11.457	0.189	-11.048	-0.127	61.624	-0.035
1	13	11.457	-0.189	-11.048	0.127	61.624	0.035
1	19	-28.366	-29.342	-7.870	35.043	-67.806	9.774
1	20	-9.669	-29.337	-6.949	35.035	-27.012	9.771
155	11	4.907	0.000	91.982	0.000	-84.536	0.000
155	14	0.788	0.000	82.461	0.000	-86.084	0.000
155	15	7.011	-0.988	67.540	1.113	-52.288	0.311
155	16	4.295	-1.647	41.724	1.855	-32.337	0.518
155	13	4.892	0.000	-39.087	0.000	52.989	0.000
155	12	9.244	0.000	37.016	0.000	-14.990	0.000
760	11	-9.745	-0.188	34.810	0.128	-103.03	0.036
1	11	-9.745	0.188	34.810	-0.128	-103.03	-0.036
760	14	-12.548	-0.157	32.736	0.105	-102.49	0.029
1	14	-12.548	0.157	32.736	-0.105	-102.49	-0.029
155	20	10.978	-34.203	10.926	+38.490	11.345	10.736
155	19	-8.659	-34.203	12.768	+38.490	-29.680	10.736
1	19	-28.366	-29.342	-7.870	+35.043	-67.806	9.774
1	20	-9.669	-29.337	-6.949	+35.035	-27.012	9.771
760	20	27.207	-29.297	20.083	+35.011	45.429	9.765
760	19	8.510	-29.291	19.162	+35.002	4.634	9.762
155	17	-31.568	-10.261	14.918	+11.547	-77.543	3.221
1	17	-37.272	-8.827	0.517	+10.537	-90.046	2.939
760	17	-26.210	-8.763	8.626	+10.476	-68.314	2.922
1	16	-2.860	-2.338	16.161	+2.036	-41.884	0.568
155	18	-31.568	10.261	14.918	-11.547	-77.543	-3.221
760	18	-37.272	8.827	0.517	-10.537	-90.046	-2.939
1	18	-26.210	8.763	8.626	-10.476	-68.314	-2.922

760	10	-1.911	0.230	10.643	-0.164	-33.779	-0.046
1	11	-9.745	0.188	34.810	-0.128	-103.03	-0.036
760	13	11.457	0.189	-11.048	-0.127	61.624	-0.035
1	14	-12.548	0.157	32.736	-0.105	-102.49	-0.029
760	9	-0.783	0.031	8.244	-0.022	-15.105	0.000
1	12	3.720	0.020	14.910	-0.017	-22.114	0.000
760	13	11.457	0.189	-11.048	-0.127	+61.624	-0.035
1	13	11.457	-0.189	-11.048	0.127	+61.624	0.035
155	13	4.892	0.000	-39.087	0.000	+52.989	0.000
760	20	27.207	-29.297	20.083	35.011	+45.429	9.765
155	20	10.978	-34.203	10.926	38.490	+11.345	10.736
760	19	8.510	-29.291	19.162	35.002	+4.634	9.762
760	11	-9.745	-0.188	34.810	0.128	-103.03	0.036
1	11	-9.745	0.188	34.810	-0.128	-103.03	-0.036
760	14	-12.548	-0.157	32.736	0.105	-102.49	0.029
1	14	-12.548	0.157	32.736	-0.105	-102.49	-0.029
760	18	-37.272	8.827	0.517	-10.537	-90.046	-2.939
1	17	-37.272	-8.827	0.517	10.537	-90.046	2.939
155	14	0.788	0.000	82.461	0.000	-86.084	0.000
155	11	4.907	0.000	91.982	0.000	-84.536	0.000
155	18	-31.568	10.261	14.918	-11.547	-77.543	-3.221
155	17	-31.568	-10.261	14.918	11.547	-77.543	3.221
155	20	10.978	-34.203	10.926	38.490	11.345	+10.736
155	19	-8.659	-34.203	12.768	38.490	-29.680	+10.736
1	19	-28.366	-29.342	-7.870	35.043	-67.806	+9.774
1	20	-9.669	-29.337	-6.949	35.035	-27.012	+9.771
760	20	27.207	-29.297	20.083	35.011	45.429	+9.765
760	19	8.510	-29.291	19.162	35.002	4.634	+9.762
155	17	-31.568	-10.261	14.918	11.547	-77.543	+3.221
1	17	-37.272	-8.827	0.517	10.537	-90.046	+2.939
760	17	-26.210	-8.763	8.626	10.476	-68.314	+2.922
1	16	-2.860	-2.338	16.161	2.036	-41.884	+0.568
155	18	-31.568	10.261	14.918	-11.547	-77.543	-3.221
760	18	-37.272	8.827	0.517	-10.537	-90.046	-2.939
1	18	-26.210	8.763	8.626	-10.476	-68.314	-2.922
760	10	-1.911	0.230	10.643	-0.164	-33.779	-0.046
1	11	-9.745	0.188	34.810	-0.128	-103.03	-0.036
760	13	11.457	0.189	-11.048	-0.127	61.624	-0.035
1	14	-12.548	0.157	32.736	-0.105	-102.49	-0.029

Einflüsse in Punktlagern – Extremwerte – Belastung: 22-27-SLS- Eigenschaften

Bezeichnung	S.O.	R1 [kN]	R2 [kN]	R3 [kN]	M1 [kNm]	M2 [kNm]	M3 [kNm]
760	25	+7.445	0.134	-5.330	-0.090	37.353	-0.025
1	25	+7.445	-0.134	-5.330	0.090	37.353	0.025
155	27	+4.790	-0.659	46.211	0.742	-35.776	0.207
155	25	+3.648	0.000	-22.109	0.000	32.270	0.000
155	23	+3.387	0.000	62.506	0.000	-57.274	0.000
155	26	+2.979	-1.098	29.001	1.237	-22.475	0.345
155	22	+2.831	0.000	18.293	0.000	-20.702	0.000
155	24	+0.641	0.000	56.159	0.000	-58.306	0.000
760	24	-8.423	-0.103	22.435	0.069	-69.447	0.019
1	24	-8.423	0.103	22.435	-0.069	-69.447	-0.019
760	23	-6.555	-0.123	23.818	0.084	-69.803	0.023
1	23	-6.555	0.123	23.818	-0.084	-69.803	-0.023
1	27	-2.680	-0.875	17.187	0.772	-45.559	0.215
760	27	-2.110	-0.645	17.662	0.731	-44.412	0.204
1	26	-1.965	-1.561	11.384	1.359	-29.042	0.379

760	22	-1.416	0.170	7.884	-0.121	-25.021	-0.034
1	22	-1.416	-0.170	7.884	0.121	-25.021	0.034
760	26	-1.014	-0.972	12.175	1.147	-27.129	0.320
760	22	-1.416	+0.170	7.884	-0.121	-25.021	-0.034
760	25	7.445	+0.134	-5.330	-0.090	37.353	-0.025
1	23	-6.555	+0.123	23.818	-0.084	-69.803	-0.023
1	24	-8.423	+0.103	22.435	-0.069	-69.447	-0.019
1	26	-1.965	-1.561	11.384	1.359	-29.042	0.379
155	26	2.979	-1.098	29.001	1.237	-22.475	0.345
760	26	-1.014	-0.972	12.175	1.147	-27.129	0.320
1	27	-2.680	-0.875	17.187	0.772	-45.559	0.215
155	27	4.790	-0.659	46.211	0.742	-35.776	0.207
760	27	-2.110	-0.645	17.662	0.731	-44.412	0.204
1	22	-1.416	-0.170	7.884	0.121	-25.021	0.034
1	25	7.445	-0.134	-5.330	0.090	37.353	0.025
760	23	-6.555	-0.123	23.818	0.084	-69.803	0.023
760	24	-8.423	-0.103	22.435	0.069	-69.447	0.019
155	23	3.387	0.000	+62.506	0.000	-57.274	0.000
155	24	0.641	0.000	+56.159	0.000	-58.306	0.000
155	27	4.790	-0.659	+46.211	0.742	-35.776	0.207
155	26	2.979	-1.098	+29.001	1.237	-22.475	0.345
760	23	-6.555	-0.123	+23.818	0.084	-69.803	0.023
1	23	-6.555	0.123	+23.818	-0.084	-69.803	-0.023
760	24	-8.423	-0.103	+22.435	0.069	-69.447	0.019
1	24	-8.423	0.103	+22.435	-0.069	-69.447	-0.019
155	22	2.831	0.000	+18.293	0.000	-20.702	0.000
760	27	-2.110	-0.645	+17.662	0.731	-44.412	0.204
155	25	3.648	0.000	-22.109	0.000	32.270	0.000
760	25	7.445	0.134	-5.330	-0.090	37.353	-0.025
1	25	7.445	-0.134	-5.330	0.090	37.353	0.025
155	23	3.387	0.000	 62.506 	0.000	-57.274	0.000
155	24	0.641	0.000	 56.159 	0.000	-58.306	0.000
155	27	4.790	-0.659	 46.211 	0.742	-35.776	0.207
155	26	2.979	-1.098	 29.001 	1.237	-22.475	0.345
760	23	-6.555	-0.123	 23.818 	0.084	-69.803	0.023
1	23	-6.555	0.123	 23.818 	-0.084	-69.803	-0.023
760	24	-8.423	-0.103	 22.435 	0.069	-69.447	0.019
1	24	-8.423	0.103	 22.435 	-0.069	-69.447	-0.019
155	25	3.648	0.000	 -22.109 	0.000	32.270	0.000
155	22	2.831	0.000	 18.293 	0.000	-20.702	0.000
1	26	-1.965	-1.561	11.384	+1.359	-29.042	0.379
155	26	2.979	-1.098	29.001	+1.237	-22.475	0.345
760	26	-1.014	-0.972	12.175	+1.147	-27.129	0.320
1	27	-2.680	-0.875	17.187	+0.772	-45.559	0.215
155	27	4.790	-0.659	46.211	+0.742	-35.776	0.207
760	27	-2.110	-0.645	17.662	+0.731	-44.412	0.204
1	22	-1.416	-0.170	7.884	+0.121	-25.021	0.034
1	25	7.445	-0.134	-5.330	+0.090	37.353	0.025
760	23	-6.555	-0.123	23.818	+0.084	-69.803	0.023
760	24	-8.423	-0.103	22.435	+0.069	-69.447	0.019
760	22	-1.416	0.170	7.884	-0.121	-25.021	-0.034
760	25	7.445	0.134	-5.330	-0.090	37.353	-0.025
1	23	-6.555	0.123	23.818	-0.084	-69.803	-0.023
1	24	-8.423	0.103	22.435	-0.069	-69.447	-0.019
760	25	7.445	0.134	-5.330	-0.090	+37.353	-0.025
1	25	7.445	-0.134	-5.330	0.090	+37.353	0.025
155	25	3.648	0.000	-22.109	0.000	+32.270	0.000
760	23	-6.555	-0.123	23.818	0.084	-69.803	0.023

1	23	-6.555	0.123	23.818	-0.084	-69.803	-0.023
760	24	-8.423	-0.103	22.435	0.069	-69.447	0.019
1	24	-8.423	0.103	22.435	-0.069	-69.447	-0.019
155	24	0.641	0.000	56.159	0.000	-58.306	0.000
155	23	3.387	0.000	62.506	0.000	-57.274	0.000
1	27	-2.680	-0.875	17.187	0.772	-45.559	0.215
760	27	-2.110	-0.645	17.662	0.731	-44.412	0.204
155	27	4.790	-0.659	46.211	0.742	-35.776	0.207
1	26	-1.965	-1.561	11.384	1.359	-29.042	0.379
1	26	-1.965	-1.561	11.384	1.359	-29.042	+0.379
155	26	2.979	-1.098	29.001	1.237	-22.475	+0.345
760	26	-1.014	-0.972	12.175	1.147	-27.129	+0.320
1	27	-2.680	-0.875	17.187	0.772	-45.559	+0.215
155	27	4.790	-0.659	46.211	0.742	-35.776	+0.207
760	27	-2.110	-0.645	17.662	0.731	-44.412	+0.204
1	22	-1.416	-0.170	7.884	0.121	-25.021	+0.034
1	25	7.445	-0.134	-5.330	0.090	37.353	+0.025
760	23	-6.555	-0.123	23.818	0.084	-69.803	+0.023
760	24	-8.423	-0.103	22.435	0.069	-69.447	+0.019
760	22	-1.416	0.170	7.884	-0.121	-25.021	-0.034
760	25	7.445	0.134	-5.330	-0.090	37.353	-0.025
1	23	-6.555	0.123	23.818	-0.084	-69.803	-0.023
1	24	-8.423	0.103	22.435	-0.069	-69.447	-0.019

Einflüsse in Punktlagern, Extremwerte, Belastung 21-SLS Quasi ständig

Oznaka	S.O.	R1 [kN]	R2 [kN]	R3 [kN]	M1 [kNm]	M2 [kNm]	M3 [kNm]
155	21	+2.163	0.000	15.715	0.000	-16.088	0.000
760	21	-1.081	0.111	7.173	-0.079	-19.488	-0.022
1	21	-1.081	-0.111	7.173	0.079	-19.488	0.022
760	21	-1.081	+0.111	7.173	-0.079	-19.488	-0.022
1	21	-1.081	-0.111	7.173	0.079	-19.488	0.022
155	21	2.163	0.000	+15.715	0.000	-16.088	0.000
760	21	-1.081	0.111	+7.173	-0.079	-19.488	-0.022
1	21	-1.081	-0.111	+7.173	0.079	-19.488	0.022
155	21	2.163	0.000	 15.715 	0.000	-16.088	0.000
760	21	-1.081	0.111	 7.173 	-0.079	-19.488	-0.022
1	21	-1.081	-0.111	 7.173 	0.079	-19.488	0.022
1	21	-1.081	-0.111	7.173	+0.079	-19.488	0.022
760	21	-1.081	0.111	7.173	-0.079	-19.488	-0.022
760	21	-1.081	0.111	7.173	-0.079	-19.488	-0.022
1	21	-1.081	-0.111	7.173	0.079	-19.488	0.022
155	21	2.163	0.000	15.715	0.000	-16.088	0.000
1	21	-1.081	-0.111	7.173	0.079	-19.488	+0.022
760	21	-1.081	0.111	7.173	-0.079	-19.488	-0.022

- Extremwerte der Scherkräfte (Reaktion der Stützen) beim Stützenklemmen für die Fundamentbemessung:

ULS - Belastungsgrenzzustand:

$M_{z,Ed} - M_i - 38.490 \text{ kNm};$ (Biegemoment – senkrecht zur Ebene des Hauptträgers)
 $V_{z,Ed} - R_i - 37.272 \text{ kN};$ (horizontale Kraft – in der Ebene der Hauptstütze)
 $V_{y,Ed} - R_2 - 34.203 \text{ kN};$ (horizontale Kraft – senkrecht zur Ebene des Hauptträgers)
 $N_{c,Ed,max} - R_3 - 91.982 \text{ kN};$ (vertikale Reaktion, Druck)
 $N_{t,Ed,max} - R_3 - 39.087 \text{ kN};$ (vertikale Reaktion, Spannung – Heben)

$M_{y,Ed} - M_2 - 103.03 \text{ kNm};$ (Biegemoment – in der Ebene des Hauptträgers)

SLS – Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (Merkmalskombination):

$M_{y,Ed} - M_2 - 69.803 \text{ kNm};$ (Biegemoment – in der Ebene des Hauptträgers)

$M_{z,Ed} - M_i - 1.359 \text{ kNm};$ (Biegemoment – senkrecht zur Ebene des Hauptträgers)
 $V_{z,Ed} - R_1 - 8.423 \text{ kN};$ (horizontale Kraft – in der Ebene der Hauptstütze)
 $V_{y,Ed} - R_2 - 1.561 \text{ kN};$ (horizontale Kraft – senkrecht zur Ebene des Hauptträgers)
 $N_{c,Ed,max} - R_3 - 62.506 \text{ kN};$ (vertikale Reaktion, Druck)
 $N_{t,Ed,max} - R_3 - 22.109 \text{ kN};$ (vertikale Reaktion, Spannung – Heben)

SLS – Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (quasi-ständige Kombination):

$M_{y,Ed} - M_2 - 19.488 \text{ kNm};$ (Biegemoment – in der Ebene des Hauptträgers)
 $M_{z,Ed} - M_1 - 0.079 \text{ kNm};$ (Biegemoment – senkrecht zur Ebene des Hauptträgers)
 $V_{z,Ed} - R_1 - 2.163 \text{ kN};$ (horizontale Kraft – in der Ebene der Hauptstütze)
 $V_{y,Ed} - R_2 - 0.111 \text{ kN};$ (horizontale Kraft – senkrecht zur Ebene des Hauptträgers)
 $N_{c,Ed,max} - R_3 - 15.715 \text{ kN}.$ (vertikale Reaktion, Druck)