

WERNER SOBEM .

Opernhaus Theater Dortmund

Fassadensanierung



Firma: Werner Sobek AG

Albstraße 14

70597 Stuttgart

Erstellt von: Dipl. Ing. Bojan Antonijevic

Dipl. Arch / Dipl. Ing Baptiste Lach

Datum: 12.05.2025

WIRTSCHAFTS UNIVERSITÄT DORTMUND

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemein	1-1
2	Geometrie und Statisches System	2-2
3	Lastannahmen	3-1
3.1	LF 1: Eigengewicht der Stahlunterkonstruktion	3-1
3.2	LF 2: Das Gewicht der Verglasung	3-1
3.3	LF 11: Anpralllast – Absturzsicherung	3-3
3.4	Windlasten	3-4
3.5	Imperfektionen	3-8
4	Lastkombinationen	4-1
4.1	Grenzzustände der Tragfähigkeit	4-1
4.2	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	4-2
5	Ergebnisse	5-1
5.1	Spannungen	5-1
5.2	Verformungen	5-2
5.3	Lagerreaktionen	5-4

1 Allgemein

Die Pfosten/Riegel Fassade des Opernhauses in Dortmund wird saniert. Die Verglasung wird umgetauscht mit den neuen Isoliergläser. Bei dem vorliegenden Bericht handelt es sich um eine statische Überprüfung der Stahlkonstruktion des Opernhauses in Dortmund infolge der Fassadesanierung. Die Abbildung unten zeigt die Bestandsfassade.



Abbildung 1-1: Bestandsfassade des Opernhauses in Dortmund

Der Pfostenabstand beträgt 1725 mm, bzw. 2520 mm.

Die Pfosten/Riegel Konstruktion ist komplett zusammengeschweißt.

2 Geometrie und Statisches System

Der Grundriss der Stahlfassade ist auf der Abbildung unten dargestellt.

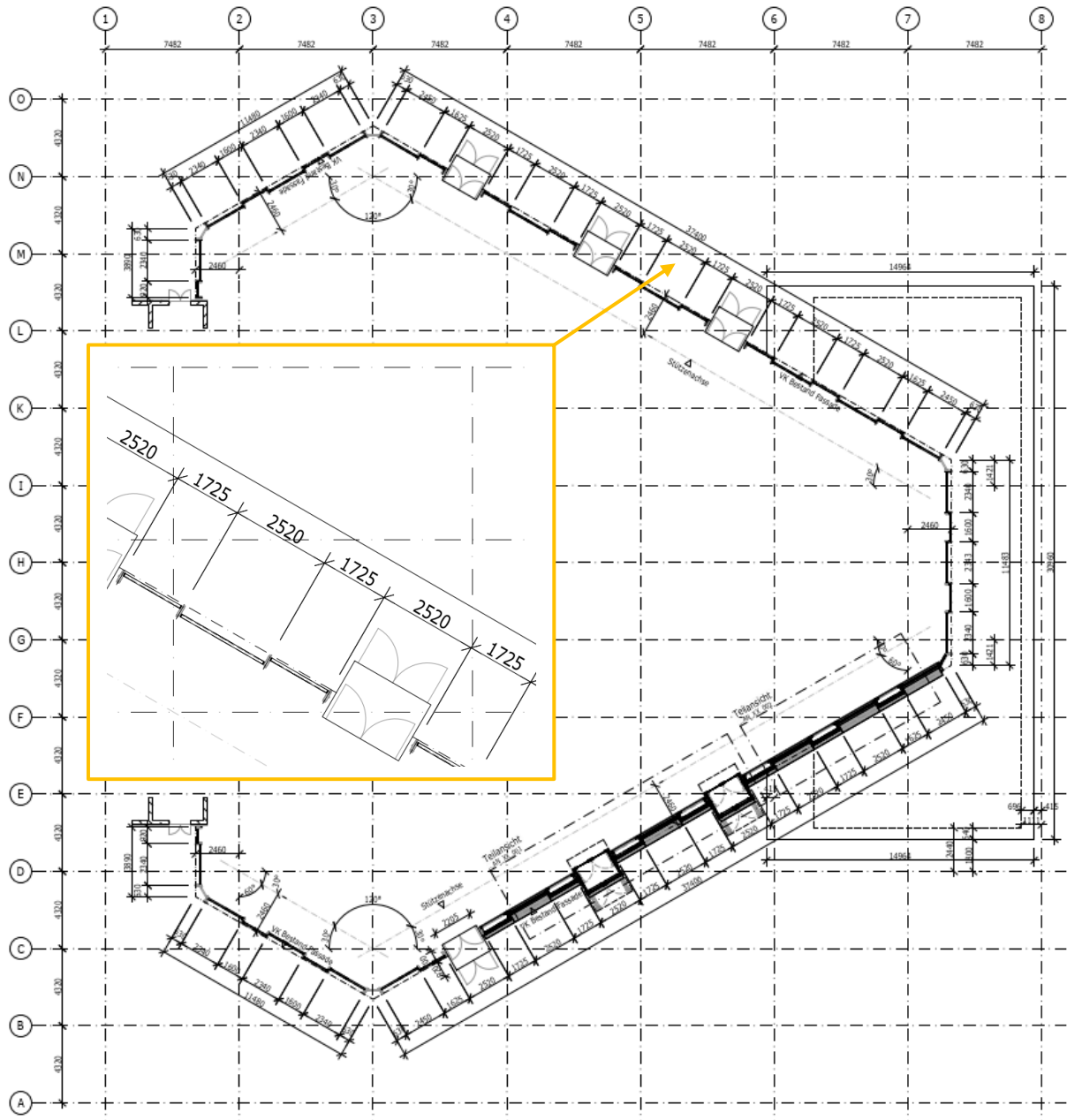


Abbildung 2-1: Bestandsfassade des Opernhauses in Dortmund – Grundriss

Die Querschnitte der Pfosten und Riegel ist den Bestandsplänen entnommen. Die Pläne sind auf den nächsten Seiten dargestellt.

[illegible]

222046 Opernhaus Theater Dortmund

[illegible]

222046 Opernhaus Theater Dortmund

WR2NRZ 803MUL .

Hier wird ein Teil der Fassade modelliert, um die Querschnitte zu überprüfen und die Auflagerkräfte zu ermitteln.

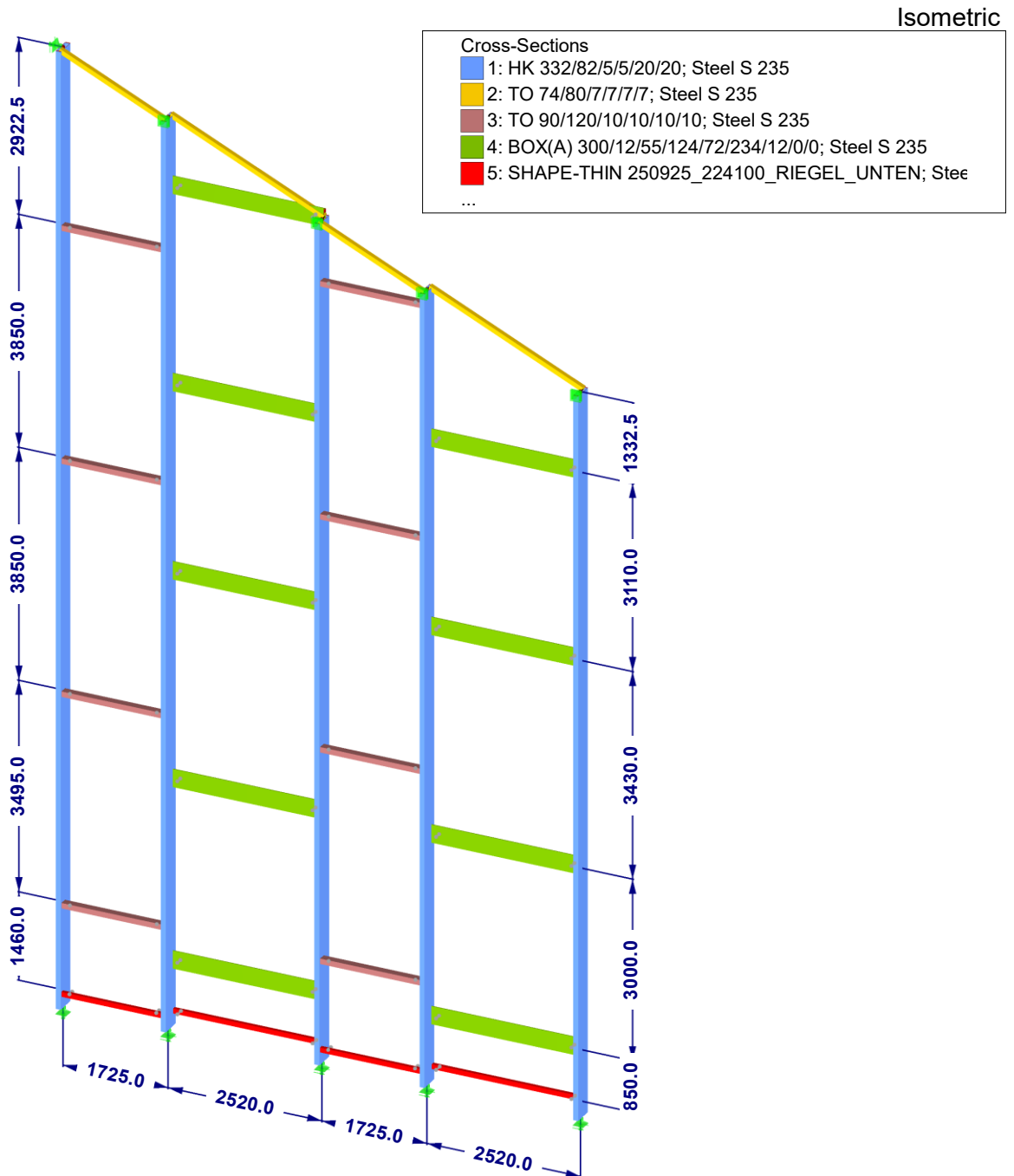


Abbildung 2-4: Fassadenmodell mit den Querschnitten und Abmessungen

Querschnitt Nummer 1: Pfosten

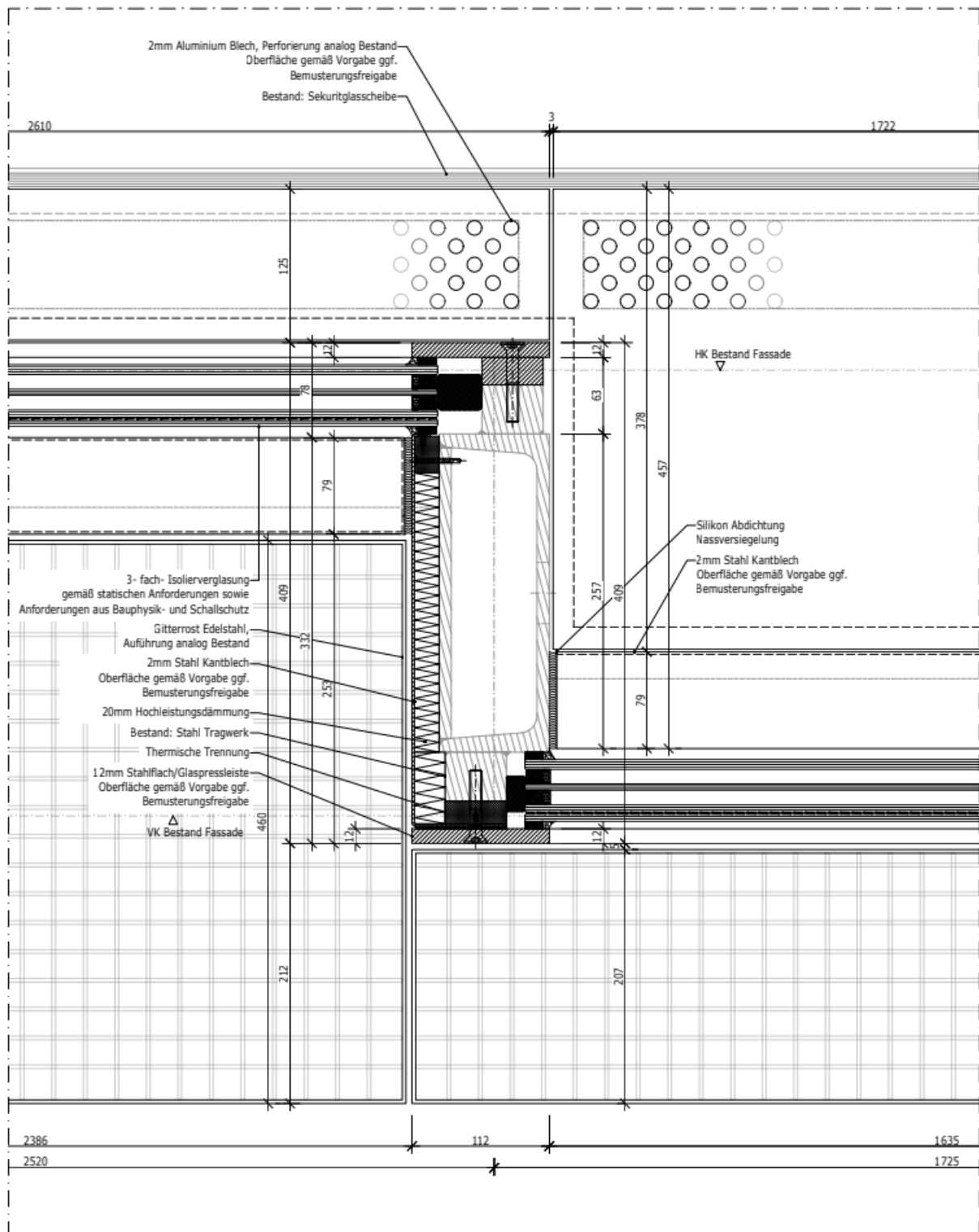


Abbildung 2-5: Detaillierte Darstellung des Fassadenpfostens.

WINDNERGIE FACHMANN .

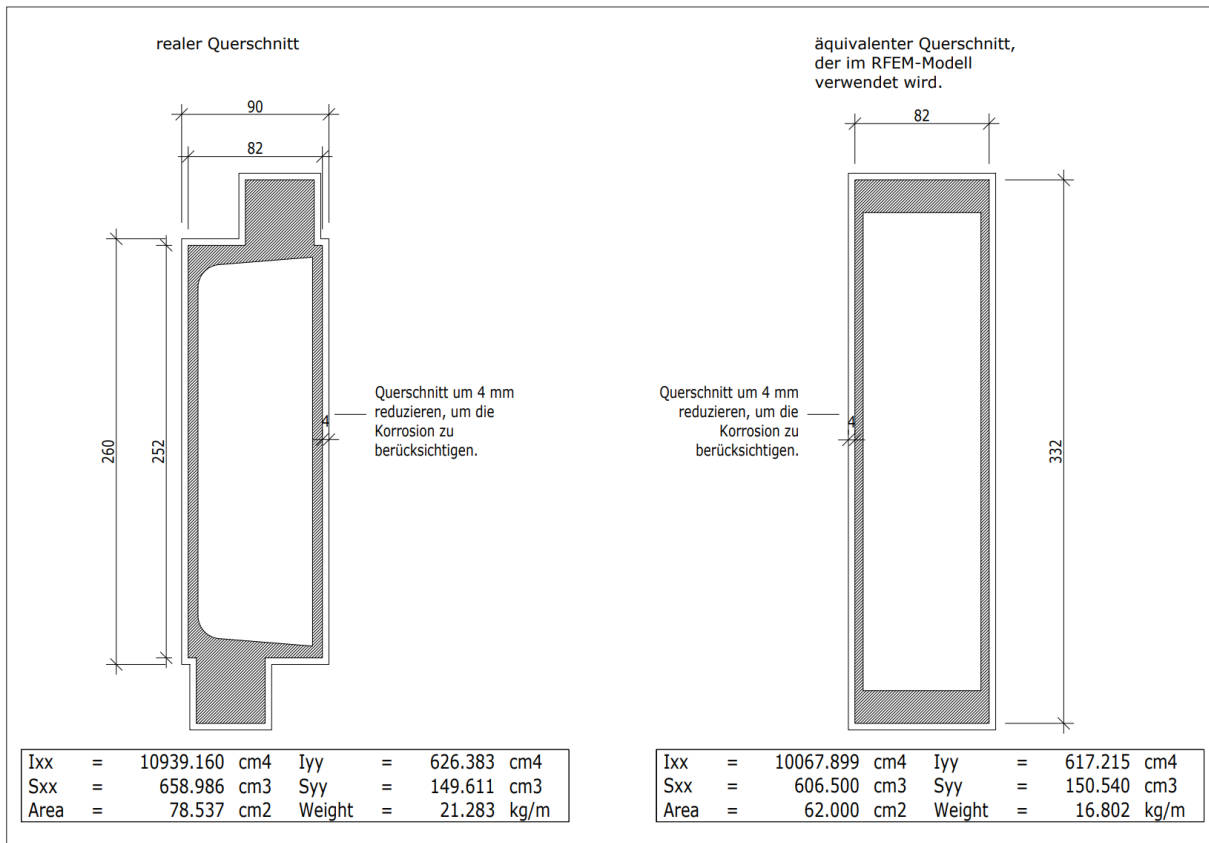
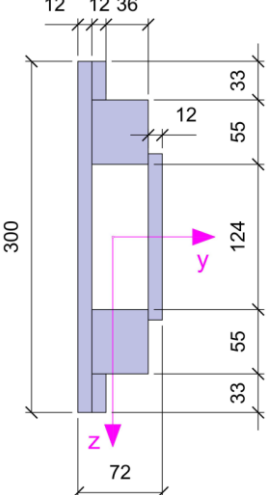
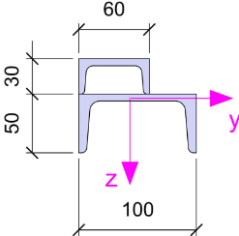


Abbildung 2-6: Statisch relevanter Querschnitt des Pfostens mit einer Reduktion von 4 mm infolge von Korrosion.

Die Querschnitte der Riegel sind in der Tabelle unten aufgelistet.

	Querschnitt Nummer 2: Oberster Riegel
	Querschnitt Nummer 3: Horizontales Riegel I

WINDNERZ FACHMANN .

	Querschnitt Nummer 4: Horizontales Riegel II
	Querschnitt Nummer 5: Unteres Riegel

Riegelprofile sind an den Pfosten angeschweißt.

WIRNZZ SUMM .

Die Auflagertypen sind in der Tabelle unten aufgelistet.

Lager Nr.	Stützung bzw. Feder [kN/m]			Einspannung bzw. Feder [kNm/rad]		
	u_x	u_y	u_z	φ_x	φ_y	φ_z
1	+	+	+	-	-	-
2	-	+	+	-	-	-
3	+	+	-	-	-	-
4	-	+	-	-	-	-

Die Fassadenunterkonstruktion wird aus Stahl S235 modelliert. Die Materialeigenschaften sind unten aufgelistet.

Material: Baustahl S235 I DIN EN 1993-1-1:2010-12			
Haupt-Kennwerte			
Elastizitätsmodul	E	21 000	kN/cm ²
Schubmodul	G	8076.92	kN/cm ²
Poissonsche Zahl (Querdehnzahl)	ν	0.3	
Spezifisches Gewicht	γ	78.5	kN/m ³
Temperaturdehnzahl (Wärmedehnzahl)	α	1.20E-05	1/°C
Zusätzliche Kennwerte			
Dickenbereich $t \leq 40.0$ mm			
Streckgrenze	f_y	23.5	kN/cm ²
Zugfestigkeit	f_u	36	kN/cm ²
Dickenbereich $t > 40.0$ mm und $t \leq 80.0$ mm			
Streckgrenze	f_y	21.5	kN/cm ²
Zugfestigkeit	f_u	36	kN/cm ²
Dickenbereich $t > 80.0$ mm und $t \leq 100.0$ mm			
Streckgrenze	f_y	21.5	kN/cm ²
Zugfestigkeit	f_u	36	kN/cm ²
Dickenbereich $t > 100.0$ mm und $t \leq 150.0$ mm			
Streckgrenze	f_y	19.5	kN/cm ²
Zugfestigkeit	f_u	35	kN/cm ²
Dickenbereich $t > 150.0$ mm und $t \leq 200.0$ mm			
Streckgrenze	f_y	18.5	kN/cm ²
Zugfestigkeit	f_u	34	kN/cm ²
Korrelationsbeiwert für Kehlnähte	β_w	0.8	

3 Lastannahmen

3.1 LF 1: Eigengewicht der Stahlunterkonstruktion

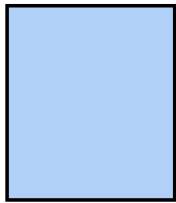
Das Eigengewicht der Stahlunterkonstruktion wird entsprechend den ausgewählten Querschnitten automatisch beim RFEM berücksichtigt.

3.2 LF 2: Das Gewicht der Verglasung

Spezifisches Gewicht des Glases:

$$\gamma_{Gl} = 25.0 \text{ kN/m}^3$$

Aufbau					
Nr.		Hersteller	Bezeichnung	Gas/ Verbundschicht	Dicke (mm)
1	Scheibe außen	Sommer Informatik GmbH	2x(Float6-1.52)	PVB	13.52
2	SZR1		Aluminium (EN ISO 10077-2)	90% Argon	12.00
3	Scheibe mitte	Sommer Informatik GmbH	Float		5.00
4	SZR2		Aluminium (EN ISO 10077-2)	90% Argon	12.00
5	Scheibe innen	Sommer Informatik GmbH	ESG (Float)		8.00



h = 2960

b = 2450

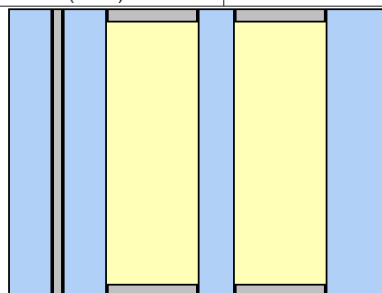


Abbildung 3-1: Glasaufbau

WINDNACHSCHÜSS

LC2 : Verglasung
Loads [kN]

Isometric

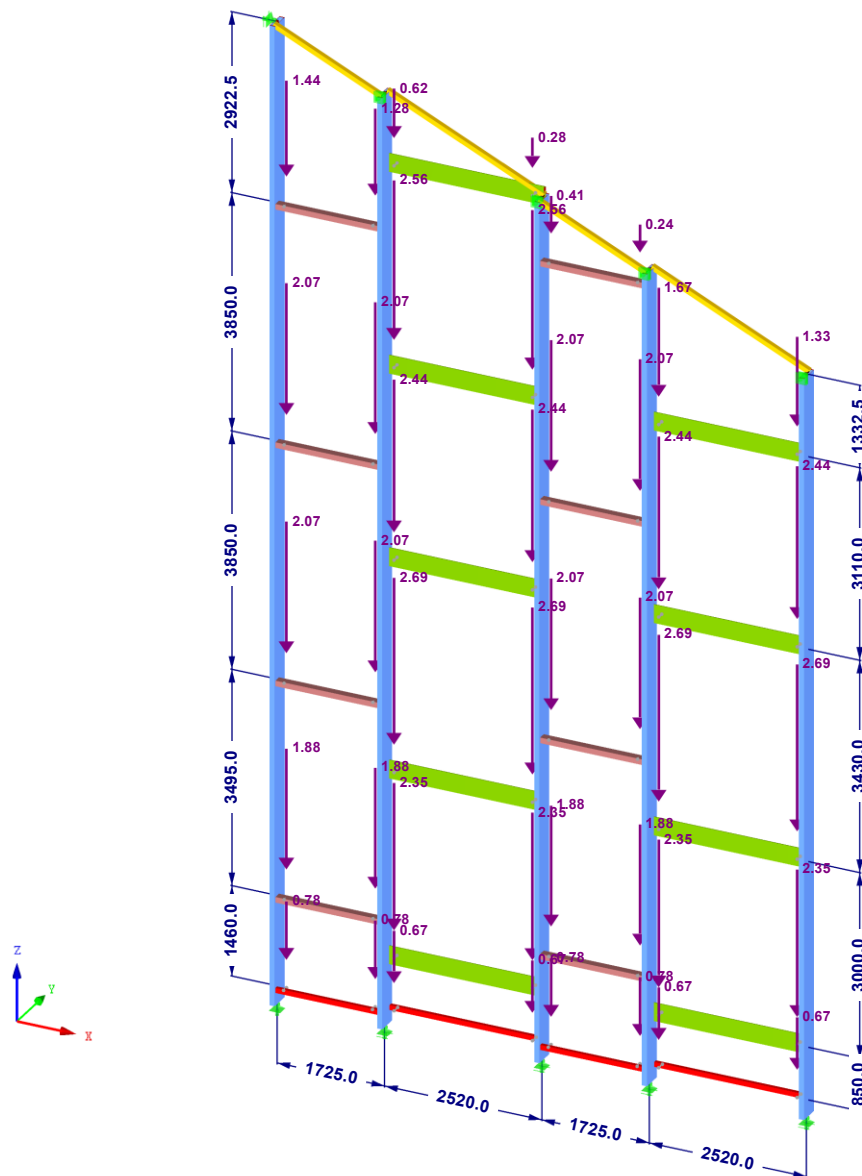


Abbildung 3-2: LF 2 - Gewicht der Verglasung - 0.625 kN/m^2

3.3 LF 11: Anpralllast – Absturzsicherung

Nach DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12 für Nutzungskategorie C5:

Tabelle 6.12DE — Horizontale Lasten auf Zwischenwände und Absturzsicherungen

Spalte	1	2
Zeile	Belastete Fläche nach Kategorie	Horizontale Nutzlast q_k kN/m
1	A, B1, H, F1 ^b bis F4 ^b , T1, Z ^a	0,5
2	B2, B3, C1 bis C4, D, E1.1 ^c , E1.2 ^c , E2.1 ^c bis E2.5 ^c , FL1 ^b bis FL6 ^b , HC, T2, Z ^a	1,0
3	C5, C6, T3	2,0

^a Für Kategorie Z ist die Zuordnung in Zeile 1 bzw. Zeile 2 entsprechend der zugehörigen maßgeblichen Nutzungskategorie nach Tabelle 6.1DE vorzunehmen.

^b Anprall wird durch konstruktive Maßnahmen ausgeschlossen.

^c Bei Flächen der Kategorie E1.1, E1.2, E2.1 bis E2.5, die nur zu Kontroll- und Wartungszwecken begangen werden, sind die Lasten in Abstimmung mit dem Bauherrn festzulegen, jedoch mindestens 0,5 kN/m.

LF11 : Anpralllast
Belastung [kN]

Isometrie

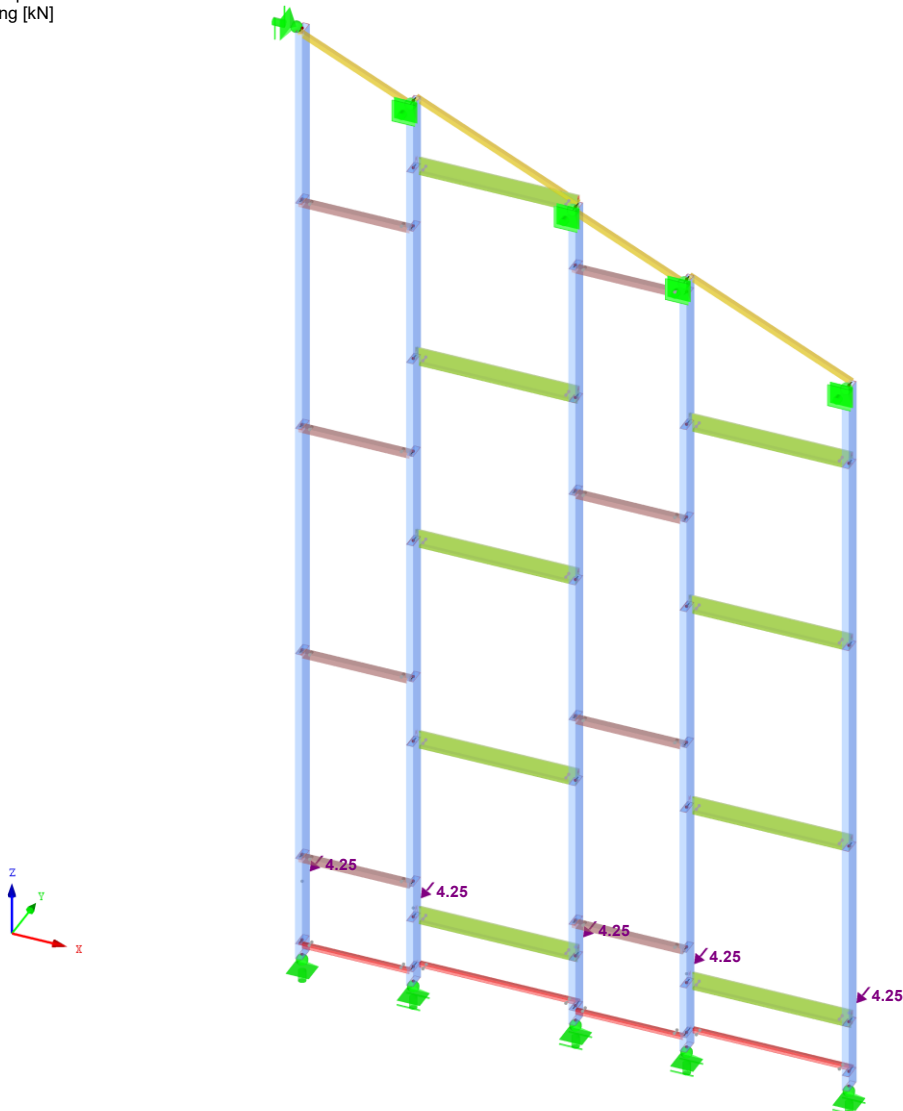


Abbildung 3-3: LF 11 – Anpralllast / Absturzsicherung 2.0 kN/m 1 m vom Boden aufgebracht

WINDZONEN BESTIMMEN .

3.4 Windlasten

Höhe des Gebäudes beträgt ≈ 18.0 m.

Dortmund befindet sich in der Windzone 1.

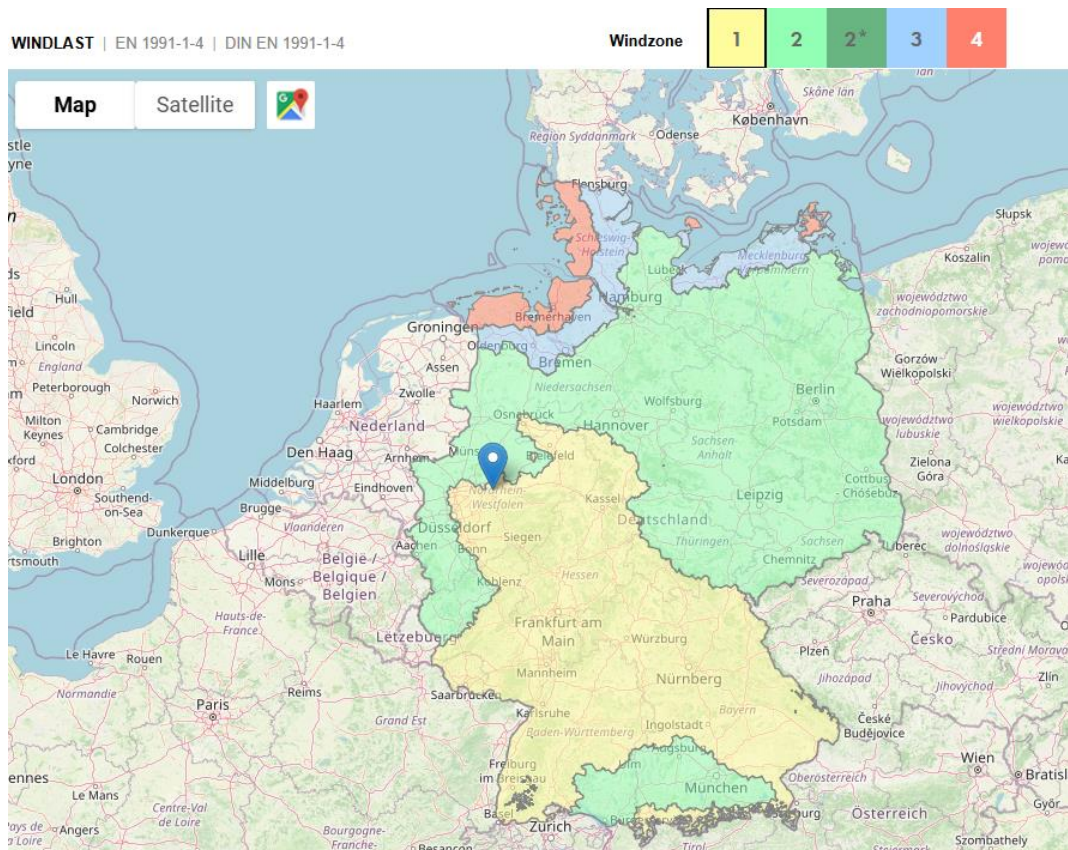


Abbildung 3-4: Windzonen in Deutschland nach DIN EN 1994-1-4

Nach DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12

Tabelle NA.B.3 – Vereinfachte Geschwindigkeitsdrücke für Bauwerke bis 18 m Höhe

Windzone		Geschwindigkeitsdruck q_p in kN/m^2 bei einer Gebäudehöhe h in den Grenzen von		
		$h \leq 10\text{m}$	$10\text{ m} < h \leq 18\text{ m}$	$18\text{ m} < h \leq 25\text{ m}$
1	Binnenland	0,50	0,65	0,75
2	Binnenland	0,65	0,80	0,90
	Küste und Inseln der Ostsee	0,85	1,00	1,10
3	Binnenland	0,80	0,95	1,10
	Küste und Inseln der Ostsee	1,05	1,20	1,30
4	Binnenland	0,95	1,15	1,30
	Küste der Nord- und Ostsee und Inseln der Ostsee	1,25	1,40	1,55
	Inseln der Nordsee	1,40	—	—

WINDNZZ FORMUL .

$$q_p(z) = 0.75 \text{ kN/m}^2$$

Außendruckbeiwerte für Wände rechteckiger Gebäude sind in der Tabelle unten aufgelistet.

Bereich	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Für Bereich D: $c_{pe,10,D} = +0.80$

Für Bereich A: $c_{pe,10,A} = -1.20$

Für Bereich B: $c_{pe,10,B} = -0.80$

Winddruck: $w_d = c_{pe,10,D} \cdot q_p(z) = +0.80 \cdot 0.75 \text{ kN/m}^2 = 0.60 \text{ kN/m}^2$

Windsog: $w_{s,A} = c_{pe,10,A} \cdot q_p(z) = -1.20 \cdot 0.75 \text{ kN/m}^2 = -0.90 \text{ kN/m}^2$

$$w_{s,B} = c_{pe,10,B} \cdot q_p(z) = -0.80 \cdot 0.75 \text{ kN/m}^2 = -0.60 \text{ kN/m}^2$$

WINDNURZ FACHWERK .

LF21 : Winddruck
Belastung [kN/m²]

Isometrie

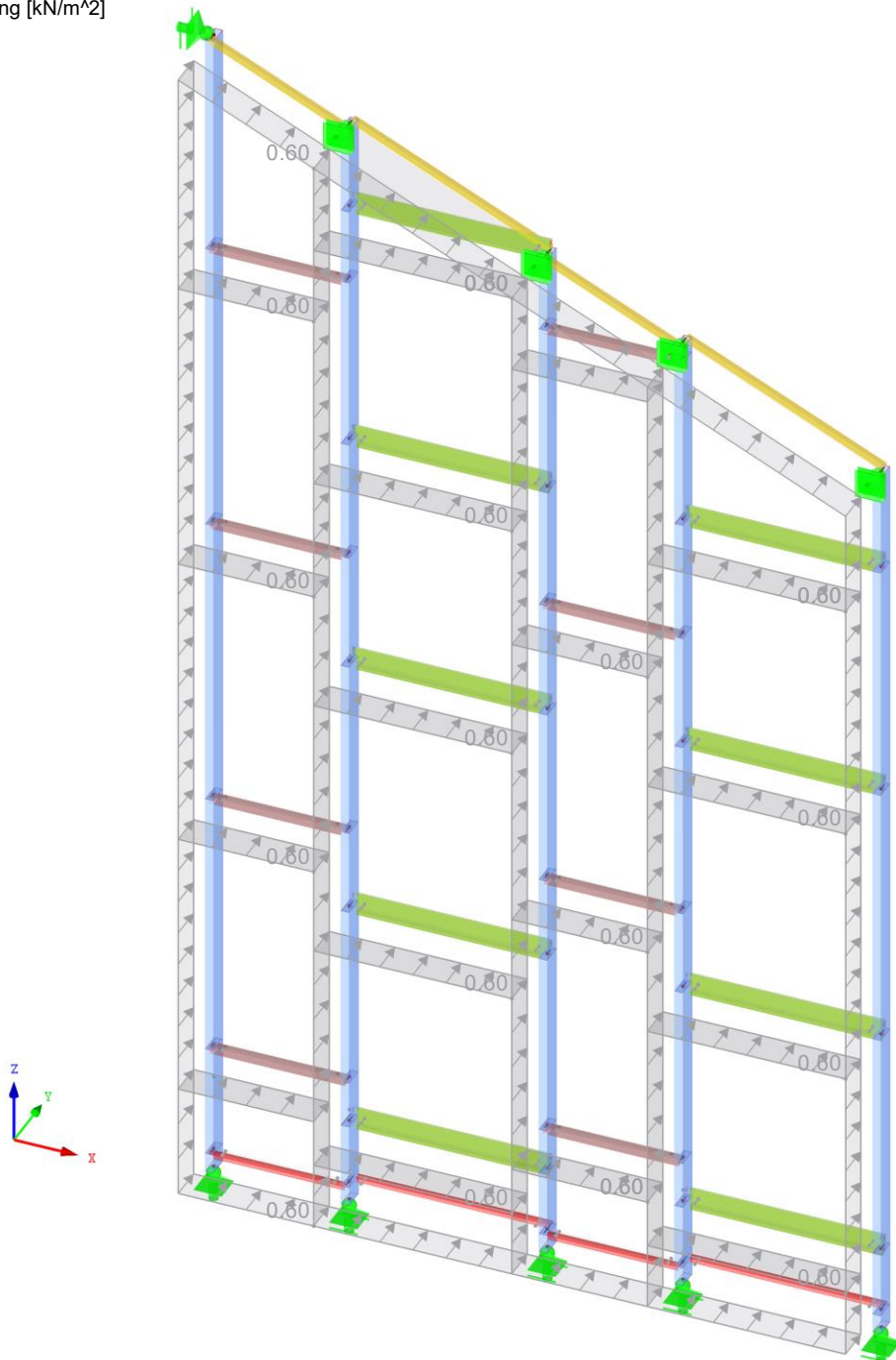


Abbildung 3-5: LF 21 - Winddruck 0.60 kN/m²

WINDNACHSCHUBMOMENTE .

LF22 : Windsog
Belastung [kN/m²]

Isometrie

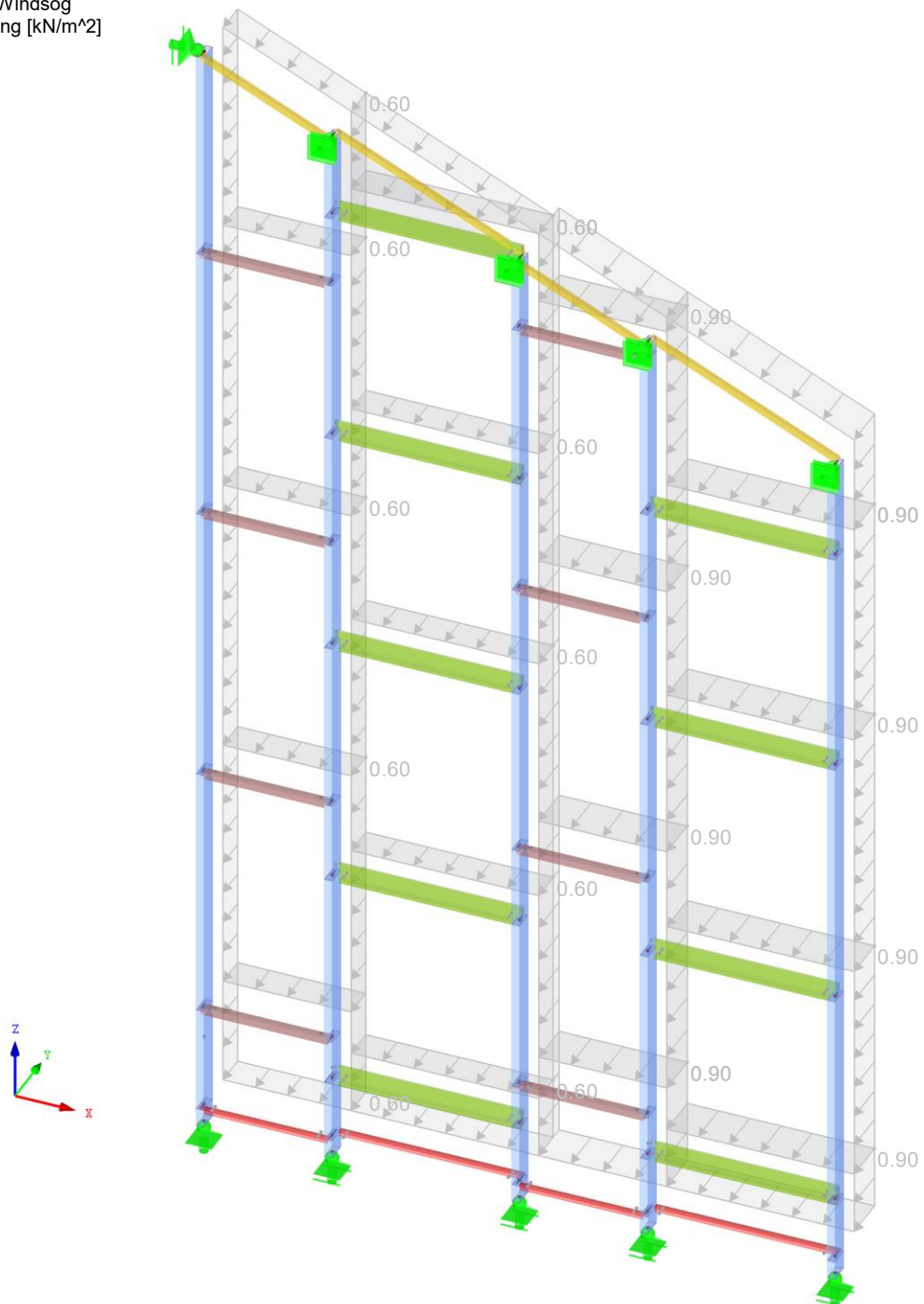


Abbildung 3-6: Windsog 0.90 kN/m² (Bereich A), 0.60 kN/m² (Bereich B)

3.5 Imperfektionen

Die Imperfektionen werden nach den gültigen Normen und entsprechend den ausgewählten Querschnitten ausgewählt.

LF31 : Imp 1
Belastung [-]

Isometrie

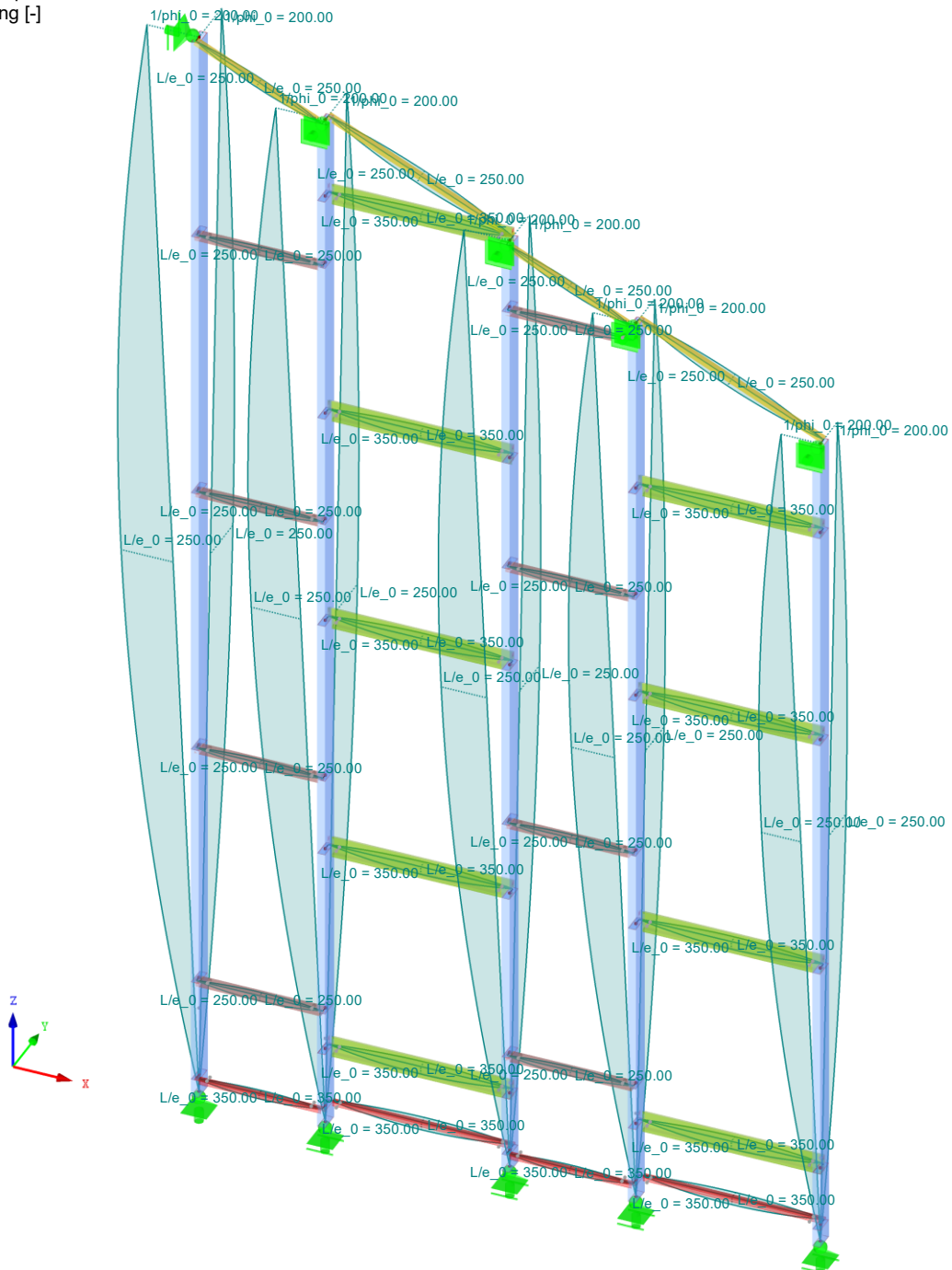


Abbildung 3-7: LF31 - Imperfektionen Fall 1

WR2NRZ 803MUL .

LF32 : Imp 2
Belastung [-]

Isometrie

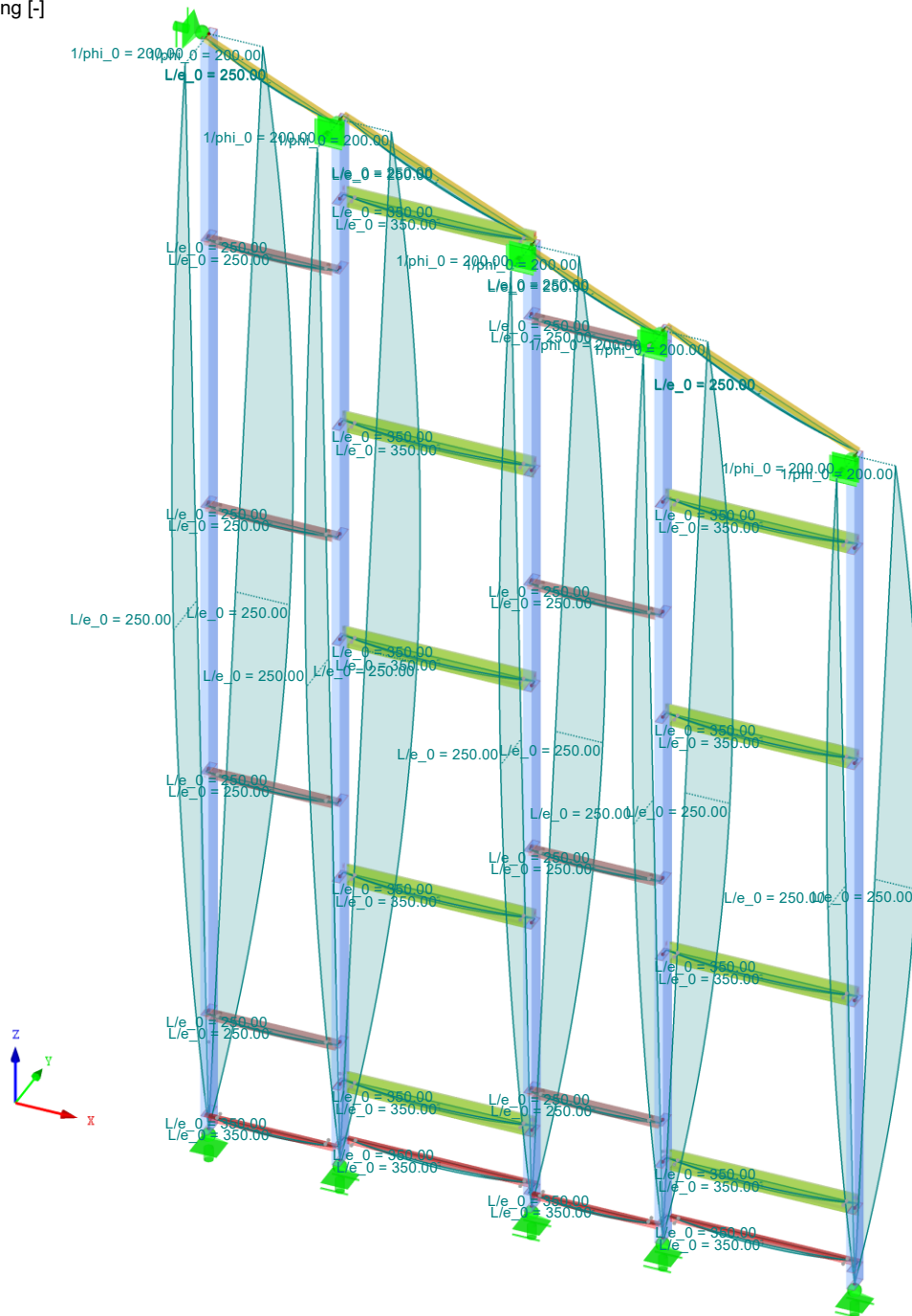


Abbildung 3-8: LF32 – Imperfektionen Fall 2

4 Lastkombinationen

4.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit

Last-kombin.	BS	Lastkombination Bezeichnung	Nr.	Faktor	Lastfall
LK1	GZT	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + LF31$	1 2 3	1.35 1.35 1.00	LF1 LF2 LF31 Eigengewicht der PR Verglasung Imp 1
LK2	GZT	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + LF32$	1 2 3	1.35 1.35 1.00	LF1 LF2 LF32 Eigengewicht der PR Verglasung Imp 2
LK3	GZT	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF21 + LF31$	1 2 3 4	1.35 1.35 1.50 1.00	LF1 LF2 LF21 LF31 Eigengewicht der PR Verglasung Winddruck Imp 1
LK4	GZT	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF22 + LF32$	1 2 3 4	1.35 1.35 1.50 1.00	LF1 LF2 LF22 LF32 Eigengewicht der PR Verglasung Windsog Imp 2
LK5	GZT	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.05 \cdot LF11 + 1.5 \cdot LF22 + LF32$	1 2 3 4 5	1.35 1.35 1.05 1.50 1.00	LF1 LF2 LF11 LF22 LF32 Eigengewicht der PR Verglasung Anprallast Windsog Imp 2
LK6	GZT	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF11 + LF32$	1 2 3 4	1.35 1.35 1.50 1.00	LF1 LF2 LF11 LF32 Eigengewicht der PR Verglasung Anprallast Imp 2
LK7	GZT	$1.35 \cdot LF1 + 1.35 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF11 + 0.9 \cdot LF22 + LF32$	1 2 3 4 5	1.35 1.35 1.50 0.90 1.00	LF1 LF2 LF11 LF22 LF32 Eigengewicht der PR Verglasung Anprallast Windsog Imp 2

4.2 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Last-kombin.	BS	Lastkombination Bezeichnung	Nr.	Faktor	Lastfall	
LK8	G Ch	LF1 + LF2 + LF31	1	1.00	LF1	Eigengewicht der PR
			2	1.00	LF2	Verglasung
			3	1.00	LF31	Imp 1
LK9	G Ch	LF1 + LF2 + LF32	1	1.00	LF1	Eigengewicht der PR
			2	1.00	LF2	Verglasung
			3	1.00	LF32	Imp 2
LK10	G Ch	LF1 + LF2 + LF21 + LF31	1	1.00	LF1	Eigengewicht der PR
			2	1.00	LF2	Verglasung
			3	1.00	LF21	Winddruck
			4	1.00	LF31	Imp 1
LK11	G Ch	LF1 + LF2 + LF22 + LF32	1	1.00	LF1	Eigengewicht der PR
			2	1.00	LF2	Verglasung
			3	1.00	LF22	Windsog
			4	1.00	LF32	Imp 2
LK12	G Ch	LF1 + LF2 + 0.7*LF11 + LF22 + LF32	1	1.00	LF1	Eigengewicht der PR
			2	1.00	LF2	Verglasung
			3	0.70	LF11	Anprallast
			4	1.00	LF22	Windsog
			5	1.00	LF32	Imp 2
LK13	G Ch	LF1 + LF2 + LF11 + LF32	1	1.00	LF1	Eigengewicht der PR
			2	1.00	LF2	Verglasung
			3	1.00	LF11	Anprallast
			4	1.00	LF32	Imp 2
LK14	G Ch	LF1 + LF2 + LF11 + 0.6*LF22 + LF32	1	1.00	LF1	Eigengewicht der PR
			2	1.00	LF2	Verglasung
			3	1.00	LF11	Anprallast
			4	0.60	LF22	Windsog
			5	1.00	LF32	Imp 2

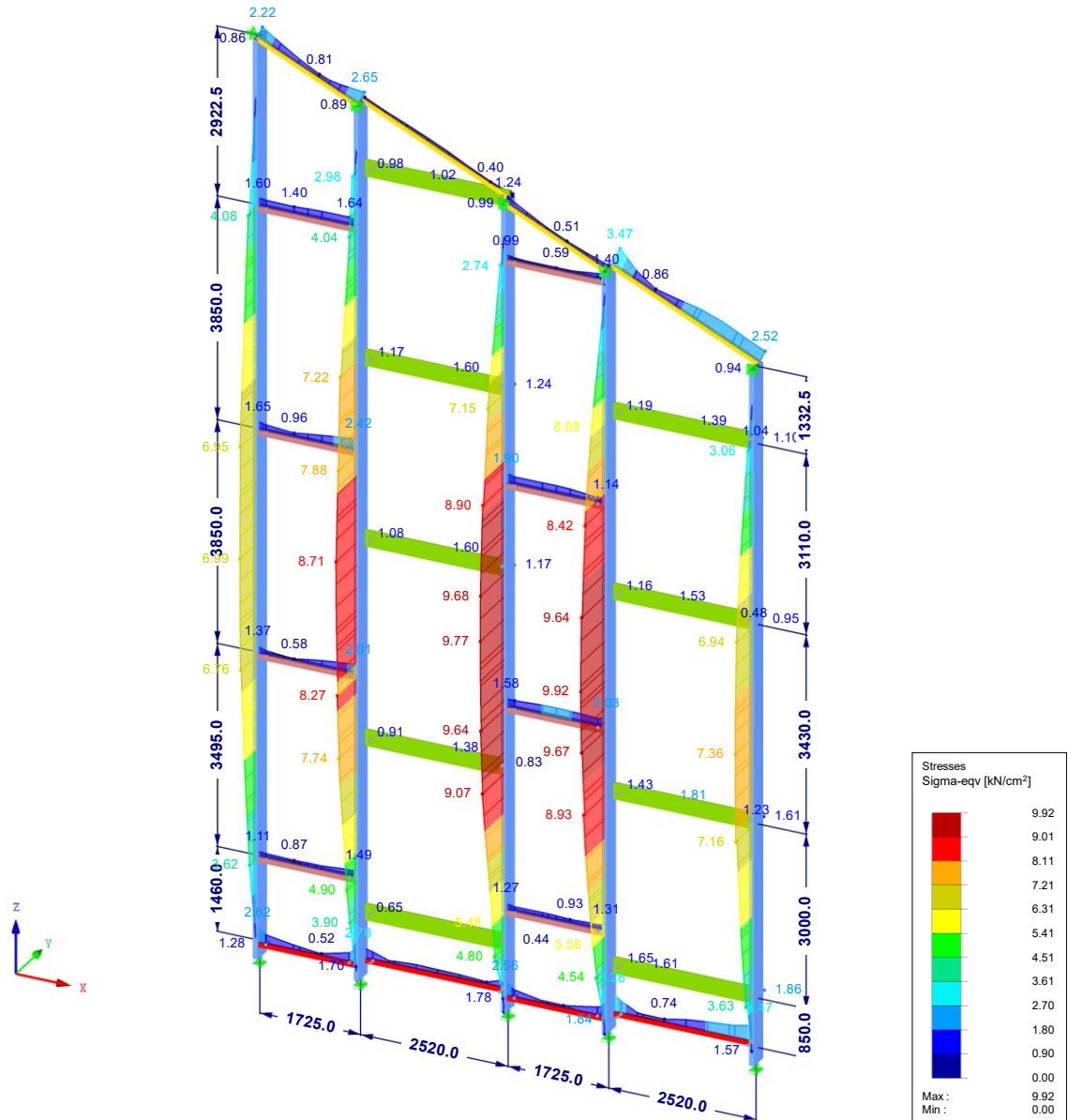
Alle Lastkombinationen sind nach der Theorie II Ordnung gerechnet.

5 Ergebnisse

5.1 Spannungen

RF-STEEL Members CA1

Isometric



Max Sigma-eqv: 9.92, Min Sigma-eqv: 0.00 [kN/cm²]

Abbildung 5-1: GZT - Maximale Vergleichsspannungen

Für Stahl S235:

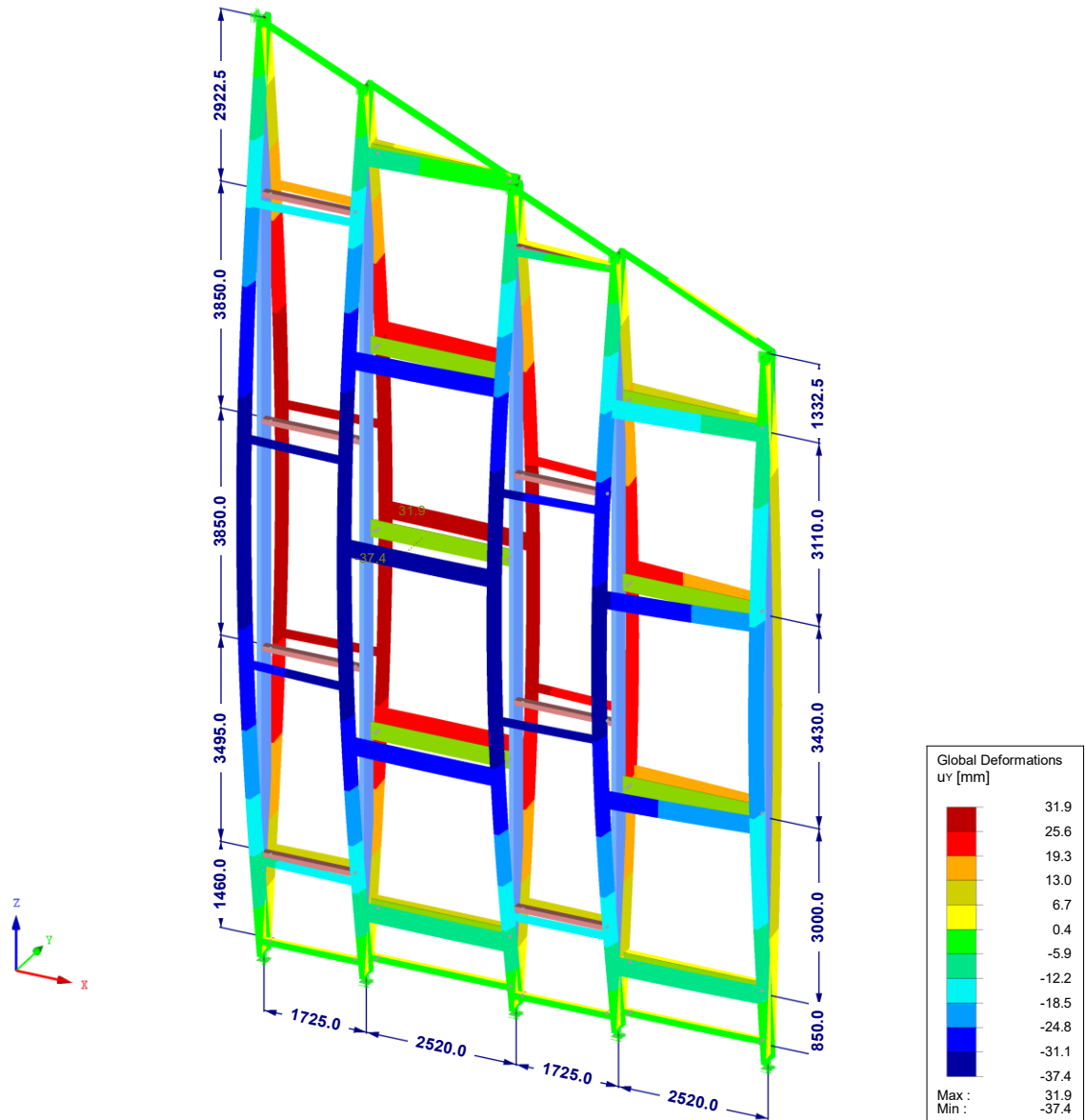
$$\sigma_{Ed,Max} = 9.92 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{Rd} = f_y / \gamma_{M1} = (23.50 \text{ kN/cm}^2) / 1.10 = 21.40 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

5.2 Verformungen

Horizontale Verformungen

RC2 : GZG - Charakteristisch
Result Combinations: Max and Min Values

Isometric



Factor of deformations: 21.00
Max u-Y: 31.9, Min u-Y: -37.4 mm

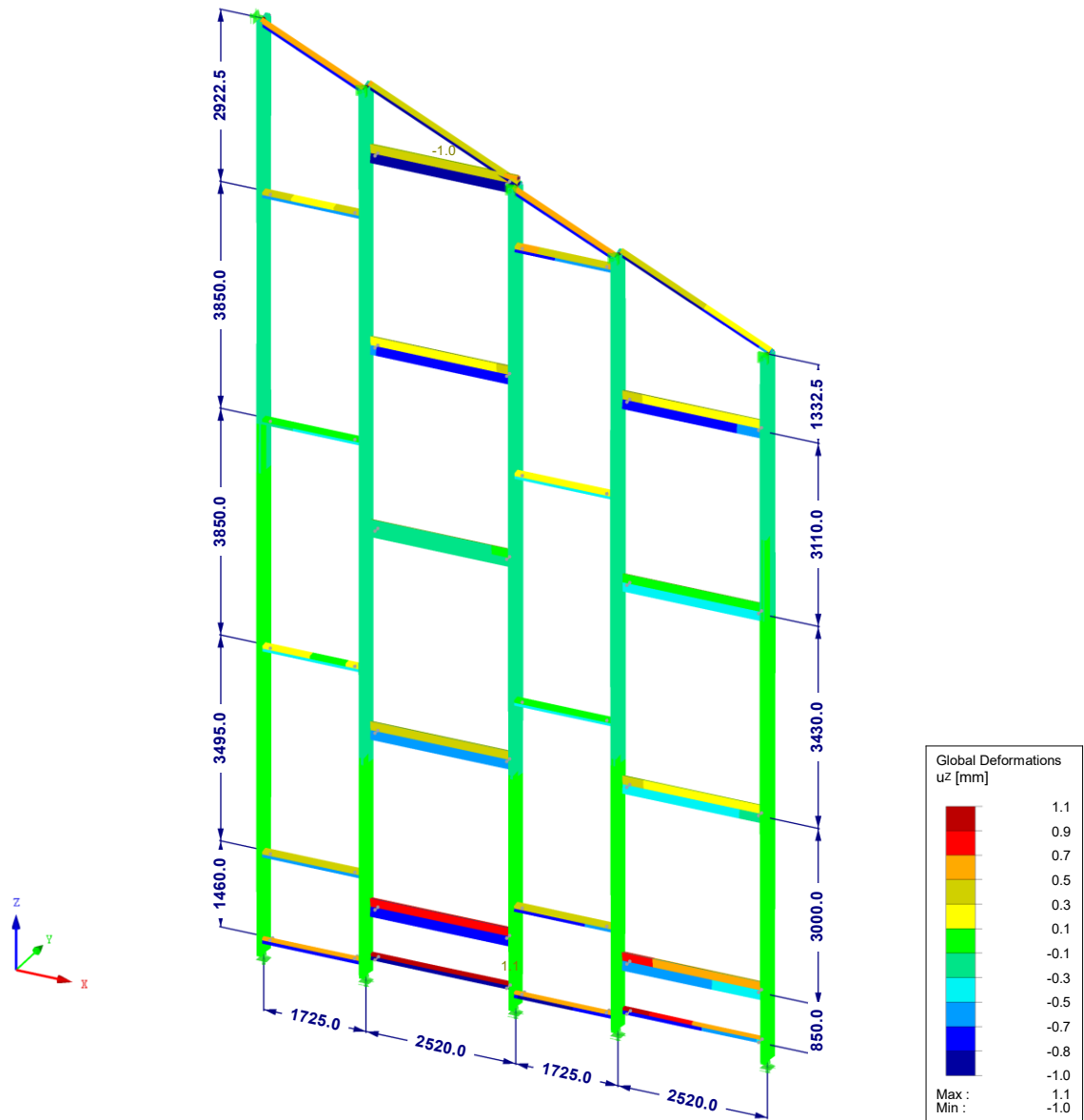
Abbildung 5-2: GZG - Maximale horizontale Verformungen

$$f_{y,max} = 37.4\text{mm} < f_{limit} = L/300 = 15830\text{mm}/300 = 52.8\text{mm} \rightarrow \text{OK}$$

WR2NRZ 803MUL .

RC2 : GZG - Charakteristisch
Result Combinations: Max and Min Values

Isometric



Factor of deformations: 21.00
Max u-Z: 1.1, Min u-Z: -1.0 mm

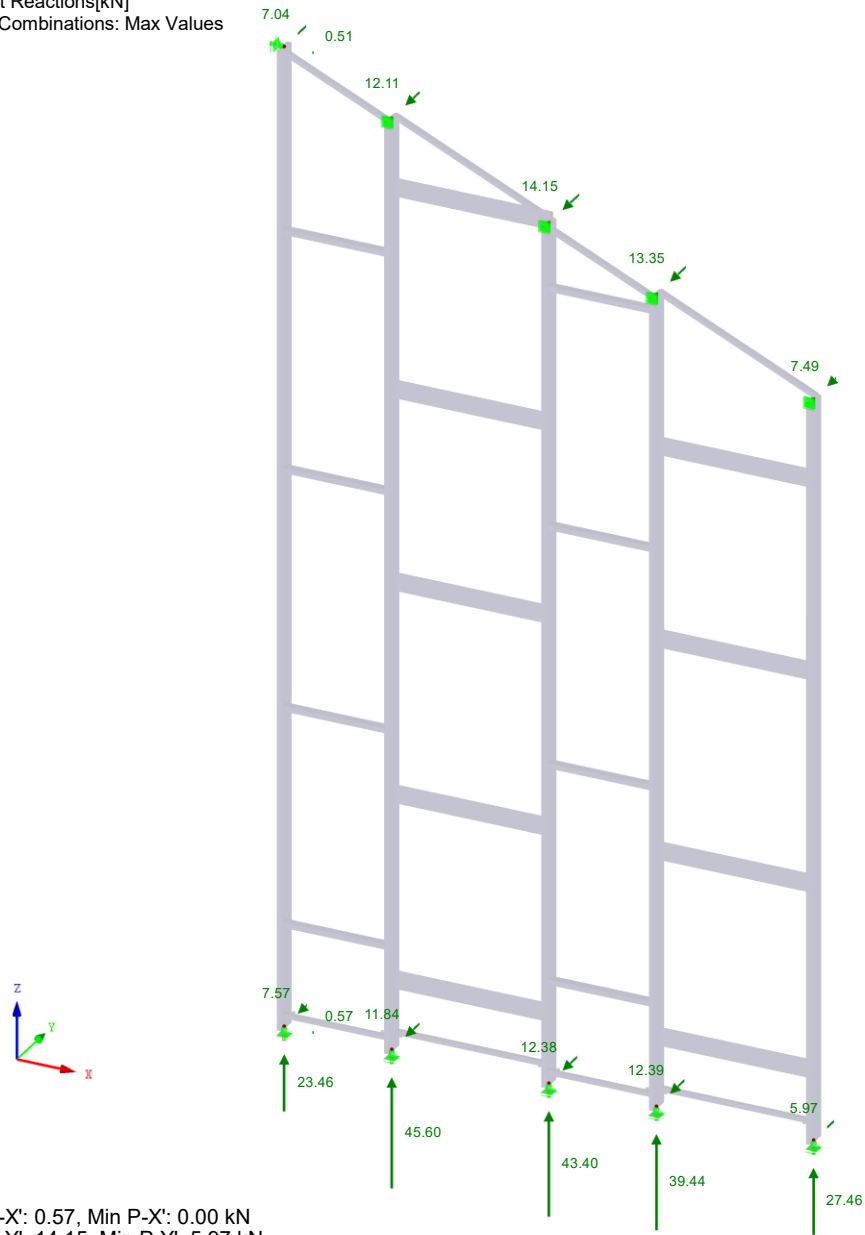
Abbildung 5-3: GZG - Maximale vertikale Verformungen

$$f_{y,max} = 1.1\text{mm} < f_{limit} = L/300 = 1725\text{mm}/300 = 5.8\text{mm} \rightarrow \text{OK}$$

5.3 Lagerreaktionen

RC1 : GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10
Support Reactions[kN]
Result Combinations: Max Values

Isometric



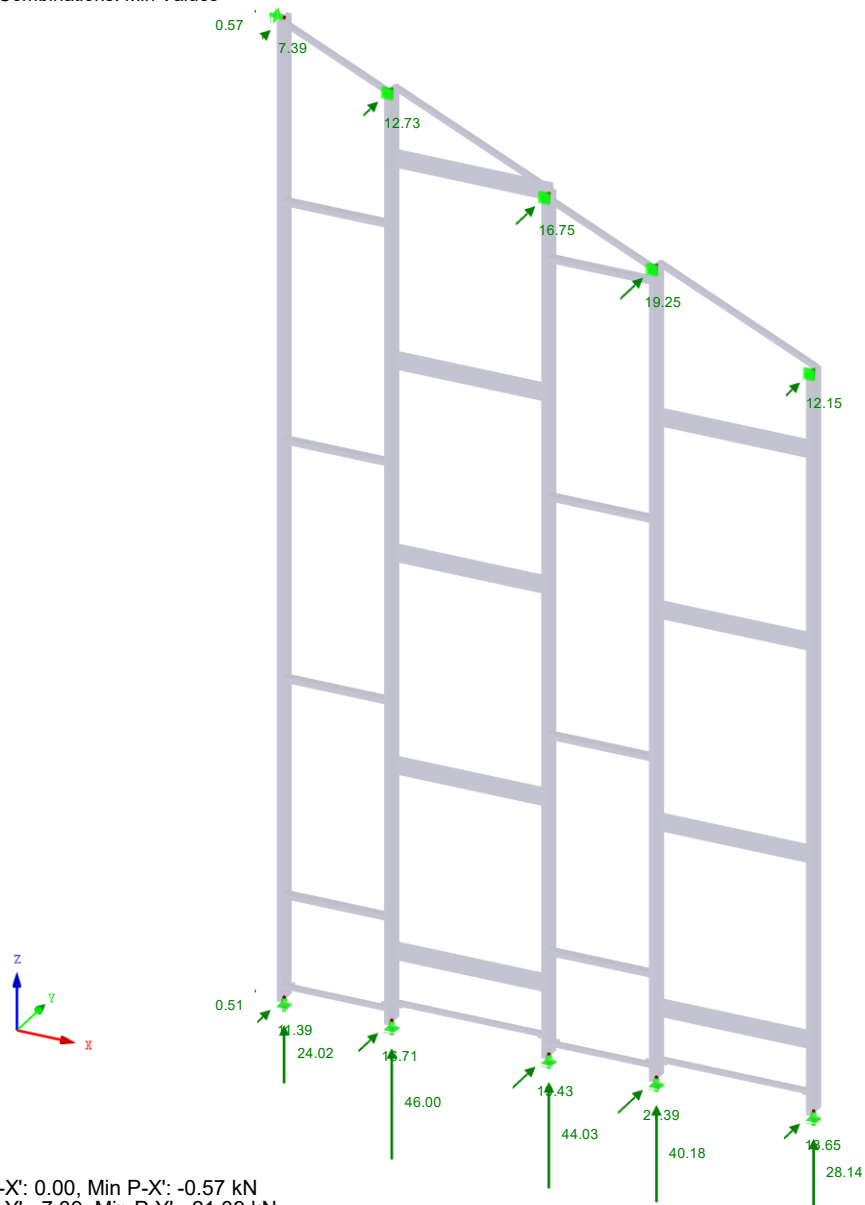
Max P-X': 0.57, Min P-X': 0.00 kN
Max P-Y': 14.15, Min P-Y': 5.97 kN
Max P-Z': 0.00, Min P-Z': -45.60 kN

Abbildung 5-4: GZT - Lagerreaktionen Max Werte

WRZNRZ SDBMR .

RC1 : GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10
Support Reactions[kN]
Result Combinations: Min Values

Isometric



Max P-X': 0.00, Min P-X': -0.57 kN
Max P-Y': -7.39, Min P-Y': -21.39 kN
Max P-Z': 0.00, Min P-Z': -46.00 kN

Abbildung 5-5: GZT – Lagerreaktionen Min Werte