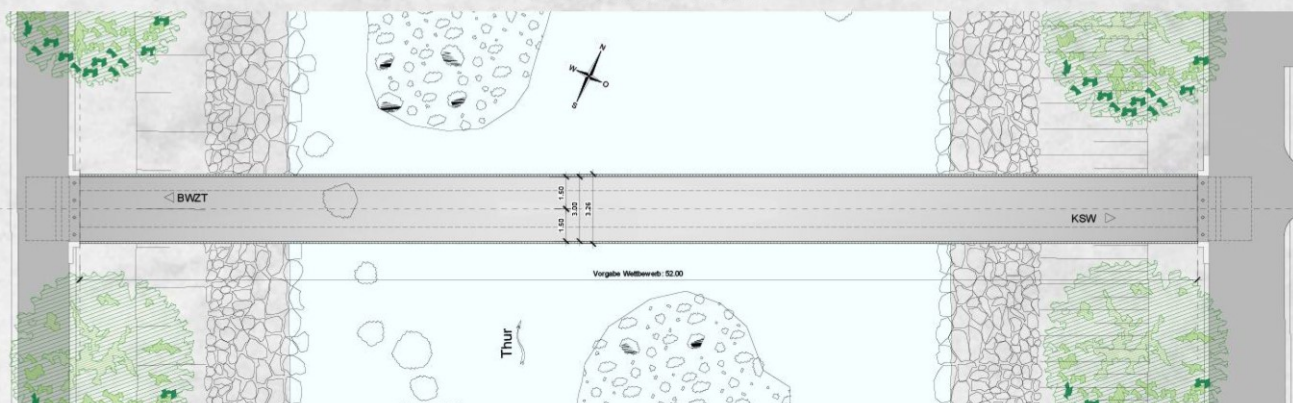
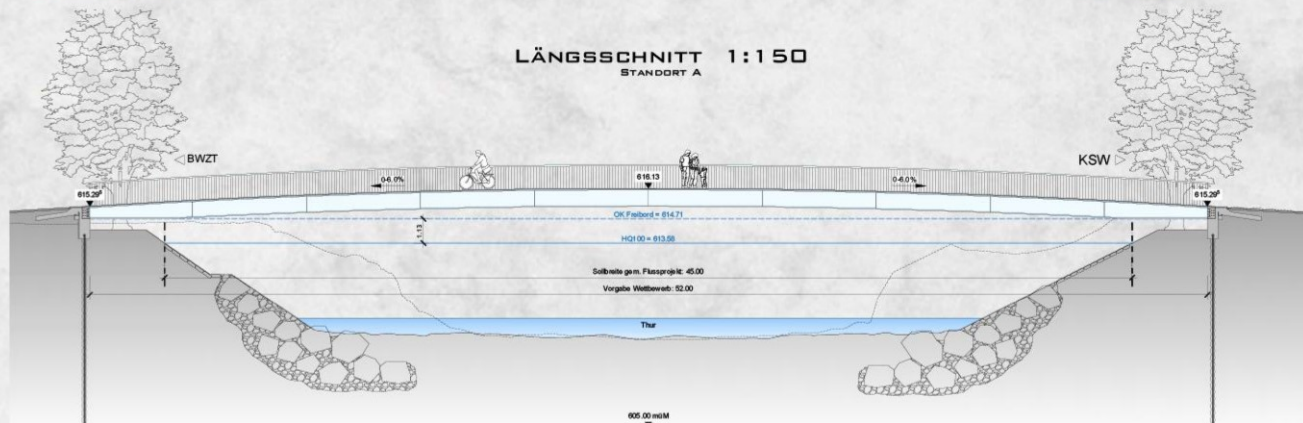


SITUATION 1:150

LÄNGSSCHNITT 1:150
STANDORT A

Bauherrschaft

Gemeinde Wattwil
Grüenaustrasse 7, 9630 Wattwil



Projekt

Campus-Steg Wattwil
Neubau Thurbrücke

Statische Berechnungen

Bauprojekt



Bänziger Partner AG
Ingenieure + Planer SIA USIC
Bahnhofstrasse 18
9470 Buchs

Telefon 081 750 04 50
buchs@bp-ing.ch
www.bp-ing.ch

Kontrolle (1) und Freigabe (2) gemäss QM-System nach ISO 9001 (2000)

Format: A4

Index	Datum	(1) Verf.	(2) PL	Index	Datum	(1) Verf.	(2) PL	File:	Statische Berechnungen.docx
-	06.06.2025	bgi	mue	C				Dok Nr.	34942 - 25
A				D					
B				E					

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Zusammenfassung	2
2.	Grundlagen	3
2.1.	Projektgrundlagen	3
2.2.	Normen	3
2.3.	EDV-Programme	3
2.4.	Baustoffe	3
2.5.	Baugrund- und Grundwasserverhältnisse	4
2.6.	Tragwerkskonzept / Berechnungsmodell	4
3.	Tragwerksanalyse	5
3.1.	Einwirkungen	5
3.2.	Bemessungssituationen	7
3.2.1.	Gefährdungsbilder / Grenzzustände der Tragsicherheit	7
3.2.2.	Nutzungszustände / Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	9
4.	Nachweise Überbau	10
4.1.	Statisches System und Modelleingaben	10
4.2.	Grenzzustand der Tragfähigkeit	15
4.3.	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	44
4.4.	Erdbeben	59
4.5.	Lager	60
4.6.	Geländer	64
4.7.	Bauzustand	65
5.	Nachweise Widerlager	72
6.	Nachweise Stützmauer	80
7.	Anhänge	103

1. Zusammenfassung

Wattwil wird seit der Thurkorrektur von 1907-1914 durch die in einem engen Kanal verlaufende Thur in 2 Teile getrennt. Im Rahmen des aktuellen Thur-Sanierungsprojekts wurde ein grosses Defizit bei den Flussquerungen festgestellt. Dieses soll mit mehreren neuen Brückenbauwerken verbessert werden. Das hier vorliegende Bauwerk dient insbesondere zur besseren Erschliessung der neuen Kantonsschule Wattwil (KSW) durch den Fussgängerkehr, wie auch zur Verbindung der Kantonsschule mit dem gegenüberliegenden Berufs- und Weiterbildungszentrum Toggenburg (BWZT).

Die neue Fuss- und Veloverkehrsbrücke besteht aus einem schlanken Stahlkasten-tragwerk, welches mit einer Spannweite von ca. 47.70 m über die Thur spannt. In der Vertikalen wird die Lage des Bauwerks durch die Hochwasserkote sowie das erforderliche Freibord des Thurausbauprojekts bestimmt. Die Gefällsverhältnisse auf der Brücke sollen zudem 6.0% nicht überschreiten. Die Brücke wird bei beiden Enden auf den Widerlagerwänden mittels Elastomerlager gelagert. Infolge Temperaturänderung im Widerlagerbereich werden auf beiden Seiten Fahrbahnübergänge notwendig. Die Widerlager sind flach im gut tragfähigen Thurschotter fundiert. Als Absturzsicherung ist ein leichtes Staketengeländer vorgesehen, welches mit einer LED-Beleuchtung versehen ist.

2. Grundlagen

2.1. Projektgrundlagen

- Genehmigungsprojekt BPAG vom 30.01.2025
- Geologisch-hydrogeologische und geotechnische Grundlagen Erweiterung BWZT Wattwil, Andres Geotechnik AG, Stand 21.01.2016
- Geologisch-hydrogeologische und geotechnische Grundlagen Ersatzneubau KSW Wattwil, Andres Geotechnik AG, Stand 28.03.2023

2.2. Normen

- SIA 260 (2013) Grundlagen der Projektierung von Tragwerken
- SIA 261 (2020) Einwirkungen auf Tragwerke
- SIA 262 (2013) Betonbau
- SIA 263 (2013) Stahlbau
- SIA 267 (2013) Geotechnik

2.3. EDV-Programme

- STATIK-7 CUBUS AG, Zürich
- CEDRUS-7 CUBUS AG, Zürich
- FAGUS-7 CUBUS AG, Zürich

2.4. Baustoffe

Konstruktionsbeton: C 30/37, Betonsorte „SG 1“ gem. Richtlinie TBA R2013.02
 $f_{cd} = 20 \text{ N/mm}^2$, $\tau_{cd} = 1.1 \text{ N/mm}^2$, $f_{ctm} = 2.9 \text{ N/mm}^2$

Bewehrung: B500B, normkonformer Registerstahl
 $f_{sd} = 435 \text{ N/mm}^2$, $E_s = 205'000 \text{ N/mm}^2$

Baustahl:

Tragkonstruktion: S355 J2, $f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$, $\tau_y = 205 \text{ N/mm}^2$, $E_s = 210'000 \text{ N/mm}^2$

Sekundäre Bauteile: S235 J0, $f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2$, $\tau_y = 135 \text{ N/mm}^2$, $E_s = 210'000 \text{ N/mm}^2$

2.5. Baugrund- und Grundwasserverhältnisse

Die Baugrundverhältnisse werden anhand der vorhandenen Untersuchungen in unmittelbarer Nähe betreffend dem Ersatzneubau der KSW und der Sanierung BWZT abgeschätzt.

Tabelle 1: Baugrundkennwerte gemäss geotechnischem Gutachten

Schicht	Feuchtraumgewicht γ [kN/m ³]	Scherwinkel ϕ'_k [Grad]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Zusammen drückbarkeit M_{E0} [MN/m ²]
Auffüllungen	18 – 19	28 – 34 (26)	0	8 – 25 (6)
Deckschicht	19	28 (26)	0	8 (6)
Thurschotter	20	35 (33)	0	35 (30)
Seeablagerungen	20	26 (24)	10 (5)	6 (4)
Grundmoräne	21	32 (30)	8 (4)	80 (65)
Molassefels	24	35 (33)	80 (60)	180 (160)

Extremwerte in Klammern

Der Bauperimeter befindet sich im kombinierten Gewässerschutzbereich Au und Ao. Als durchlässiger Grundwasserleiter dient vorwiegend der geringmächtige Thurschotter. Die darunterliegenden stark siltigen Tonschichten haben eine sehr geringe Durchlässigkeit. Aufgrund der geringen Mächtigkeit des Thurschotters ist das Förderpotential und die Ergiebigkeit des Grundwasserleiters als relativ gering einzustufen.

- Mittlerer GWSp.: ca. 609.60 m.ü.M, (+/- 20 cm)
- Hochwasserspiegel HQ100: 612.42 m.ü.M
- Minimalhöhe UK Brücke zw. den WL: 613.55 m.ü.M

2.6. Tragwerkskonzept / Berechnungsmodell

Das Brückentragwerk wird als räumliches Stabtragwerkssystem modelliert. Die Schnittgrössenermittlung erfolgt am statisch bestimmten System und basiert auf Berechnungsverfahren der linearen Elastizitätstheorie. Das Brückentragwerk wird mittels Bauwerkslager (Verformungslager) auf den beiden Widerlagern fundiert. Die Widerlager werden konsequent im gut tragfähigen Thurschotter fundiert. Die Foundation ist von einem Spundwandkasten umhüllt, sodass das Tragwerk während dem später ausgeführten Thurausbau die Foundation der Brücke nicht beeinträchtigt wird. Als Tragwerkskonstruktion wurde eine torsionssteifer Hohlkastenquerschnitt in Stahlbauweise gewählt.

3. Tragwerksanalyse

3.1. Einwirkungen

ständige Lasten

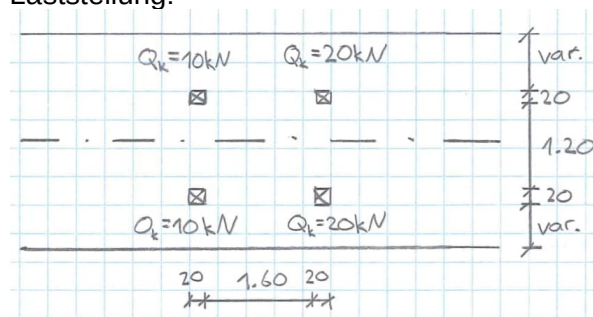
Eigenlasten Beton:	$Y_g = 25.0 \text{ kN/m}^3$
Eigenlasten Stahl:	$Y_g = 78.5 \text{ kN/m}^3$
Gussasphalt:	$g_{\text{Belag}} = 1.20 \text{ kN/m}^2$ $d = 50 \text{ mm}$
Geländer:	$g_{\text{Geländer}} = 2 \times 0.50 \text{ kN/m}$
Werkleitungen	$g_{\text{Werkleitungen}} = 0.50 \text{ kN/m}$

Nichtmotorisierter Verkehr

Die Lastannahmen erfolgen gemäss SIA Norm 261 Art. 9 ff.

Lastmodell 1	$q_k = 4.0 \text{ kN/m}^2$
Lastmodell 2	$Q_k = 10.0 \text{ kN}$
Unterhaltsfahrzeug	$Q_k = 20.0 \text{ kN}$

Laststellung:



Schnee

Gemäss SIA 261, Tabelle 8, muss die Schneelast nur bei gedeckten Brücken als Begleiteinwirkung berücksichtigt werden. In diesem Fall wird der Lastfall als Leiteinwirkung nicht massgebend. Aus diesem Grund wird Schnee in der vorliegenden Bauprojektstatik nicht berücksichtigt, da er nicht dimensionsbestimmend ist.

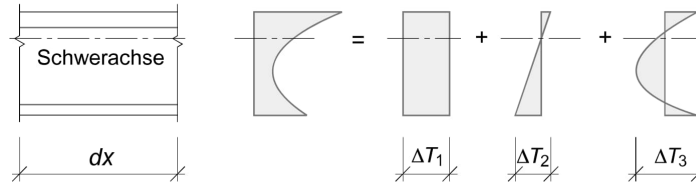
Wind

Die Windlast auf den Stahlhohlkasten wird mithilfe der SIA 261, Abschnitt 6 und Tabelle 61 im Anhang ermittelt. Der Kraftbeiwert, der Reduktionsfaktor sowie der dynamische Faktor wird mit 1 angesetzt. Bei einer berücksichtigten Querneigung von $\alpha = -6^\circ$ ergibt sich der globale Kraftbeiwert zu $c_{f1} = 1.27$. Für die Berechnung des Staudrucks wurde von der Geländekategorie III ausgegangen und der Beiwert mit 1.10 in der Rechnung berücksichtigt. Der charakteristische Wert der auf ein Bauteil oder Bauwerk wirkende, globale Windkraft berechnet sich zu:

$$Q_k = c_{\text{red}} \cdot c_d \cdot c_{f1} \cdot q_p \cdot A_{\text{ref}} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.27 \cdot 0.90 \text{ kN/m}^2 \cdot 1.10 \cdot (1.1 \text{ m} + 0.85 \text{ m}) = 2.45 \text{ kN/m}$$

Temperatur

Gemäss SIA 261, Tabelle 6 beträgt der charakteristische Wert der gleichmässigen Temperaturänderung für Stahltragwerke im Freien $\Delta T_{1k} = \pm 30^\circ\text{C}$ und der zugehörige lineare Anteil $\Delta T_{2k} = + 10^\circ\text{C}$ (oben warm) oder $\Delta T_{2k} = -6^\circ\text{C}$ (unten kalt). Der nichtlineare Anteil ΔT_3 wird nicht berücksichtigt.



In der Statiksoftware wird die gleichmässige Temperaturänderung als Dehnung berücksichtigt und berechnet sich folgendermassen:

$$\pm \Delta \epsilon_{1k} = \alpha_T \cdot \Delta T_{1k} = 1\text{E-}5 \cdot \pm 30^\circ\text{C} = \pm 0.30\text{‰}$$

Der lineare Temperaturanteil wird als Krümmung berücksichtigt und berechnet sich folgendermassen:

$$\kappa_k = \Delta \epsilon_{2k} / h = 1\text{E-}5 \cdot \pm 10^\circ\text{C} / 0.875 \text{ m} = 0.144 \text{ mrad/m}$$

Erdbeben

Die Erdbebeneinwirkung wird gemäss SIA 261 Kapitel 16 mithilfe des Bemessungsspektrum ermittelt.

Erdbebenzone Z1b	$a_{gd} = 0.8 \text{ m/s}^2$
Baugrundklasse D	$S = 1,70$
Bauwerksklasse I	$\gamma_f = 1.0$
Verhaltensbeiwert	$q = 2.0$
Plateauwert Bem.spektrum	$S_d = 2.5 \cdot \gamma_f \cdot a_{gd} / g \cdot S / q = 0.22$

3.2. Bemessungssituationen

3.2.1. Gefährdungsbilder / Grenzzustände der Tragsicherheit

Für die Nachweise der Tragsicherheit werden folgende Grenzzustände unterschieden:

- Typ 1 Gesamtstabilität des Bauwerks
- Typ 2 Tragwiderstand des Tragwerks oder eines Bauteils
- Typ 3 Tragwiderstand des Baugrundes
- Typ 4 Widerstand des Tragwerks oder eines Bauteils gegen Ermüdung

Es wird gemäss SIA 260 zwischen andauernden bzw. vorübergehenden Bemessungssituationen (SIA 260, 4.4.3.4) und aussergewöhnlichen Bemessungssituationen (SIA 260, 4.4.3.5) unterschieden:

Andauernde und
vorübergehende
Bemessungssituation:

$$E_d = E\{\gamma_G G_k, \gamma_P P_k, \gamma_{Q1} Q_{k1}, \psi_{0i} Q_{ki}, X_d, a_d\} \quad \text{SIA 260 (16)}$$

Aussergewöhnliche
Bemessungssituation:

$$E_d = E\{G_k, P_k, A_d, \psi_{2i} Q_{ki}, X_d, a_d\} \quad \text{SIA 260 (17)}$$

Grenzzustand Typ 1: Gesamtstabilität des Tragwerks

Im Rahmen der vorliegenden statischen Berechnung werden keine Nachweise der Tragsicherheit des Typs 1 geführt.

Grenzzustand Typ 2: Tragwiderstand des Tragwerks oder eines Bauteils

Gemäss SIA 262, 4.1.2.2 werden die Zwangsschnittgrössen infolge aufgezwungener oder behinderter Verformungen (z.B. infolge Temperaturänderung, Schwindverformungen...) für den Nachweis der Tragsicherheit vernachlässigt, wenn ein ausreichendes Verformungsvermögen gewährleistet ist und ein Stabilitätsversagen ausgeschlossen werden kann.

Gefährdungsbild	n. m. Verkehr	Unterhaltsfahrzeug	Erdbeben
Ständige Einwirkungen			
▪ Eigenlast	1.35 / 0.80	1.35 / 0.80	1.00
▪ Auflasten	1.35 / 0.80	1.35 / 0.80	1.00
Veränderliche Einwirkungen			
▪ Nichtmotorisierter Verkehr	1.50	-	-
▪ Unterhaltsfahrzeug	-	1.50	-
▪ Schneelasten	*	*	-
▪ Windlasten	0.60	0.60	-
▪ Gleichmässige Temperaturänderungen	0.60	0.60	0.50
▪ Lineare Temperaturänderung	0.60	0.60	0.50
Aussergewöhnliche Einwirkung			
▪ Erdbeben	-	-	1.00
Einwirkungen aus dem Baugrund			
▪ Erddruck	1.35 / 0.70	1.35 / 0.70	1.00

Bemerkungen:

- G wird jeweils mit $\gamma_{G,sup}$ oder mit $\gamma_{G,inf}$ multipliziert, je nachdem, ob die Gesamtauswirkung ungünstig oder günstig ist.
- Es wird jeweils nur eine veränderliche Begleiteinwirkung berücksichtigt.
- * Schneelasten sind nur bei gedeckten Brücken als Begleiteinwirkung zu berücksichtigen

Grenzzustand Typ 3: Tragwiderstand des Baugrundes

Gefährdungsbild	n. m. Verkehr	Unterhaltsfahrzeug	Erdbeben
Ständige Einwirkungen			
▪ Eigenlast	1.00	1.00	1.00
▪ Auflasten	1.00	1.00	1.00
Veränderliche Einwirkungen			
▪ Nichtmotorisierter Verkehr	1.30	-	-
▪ Unterhaltsfahrzeug	-	1.30	-
▪ Schneelasten	*	*	-
▪ Windlasten	0.60	0.60	-
▪ Gleichmässige Temperaturänderungen	0.60	0.60	0.50
▪ Lineare Temperaturänderung	0.60	0.60	0.50
Aussergewöhnliche Einwirkung			
▪ Erdbeben	-	-	1.00
Einwirkungen aus dem Baugrund			
▪ Erddruck	1.00	1.00	1.00

Grenzzustand Typ 4: Widerstand des Tragwerks oder eines Bauteils gegen Ermüdung

Für den Grenzzustand Typ 4 bestehen keine Gefährdungsbilder.

3.2.2. Nutzungszustände / Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Für die andauernden und vorübergehenden Bemessungssituationen werden gemäss SIA 260, 4.4.4.4 drei Typen von Lastfällen unterschieden:

Seltene Lastfälle: $E_d = E\{G_k, P_k, Q_{k1}, \psi_{0i} Q_{ki}, X_d, a_d\}$ SIA 260 (20)

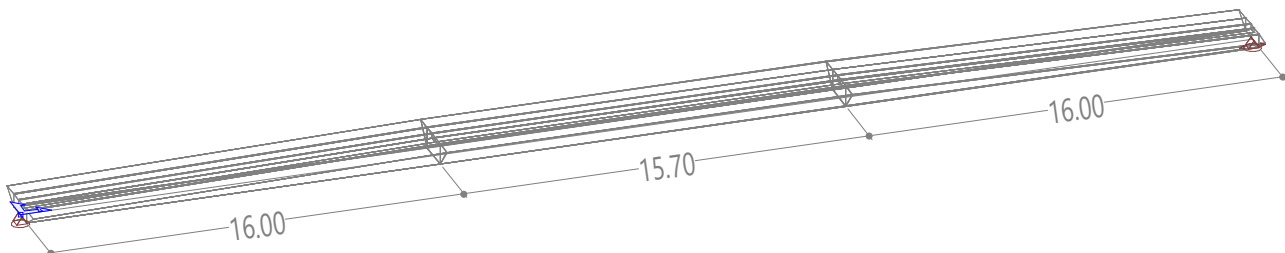
Häufige Lastfälle: $E_d = E\{G_k, P_k, \psi_{11} Q_{k1}, \psi_{2i} Q_{ki}, X_d, a_d\}$ SIA 260 (21)

Quasi-ständige Lastfälle $E_d = E\{G_k, P_k, \psi_{11} Q_{k1}, \psi_{2i} Q_{ki}, X_d, a_d\}$ SIA 260 (22)

Gefährdungsbild	Aussehen	Funktionstüchtigkeit
Lastfall	quasi-ständig	häufig
Ständige Einwirkungen - Eigenlast - Auflasten	1.00 1.00	1.00 1.00
Veränderliche Einwirkungen - Nichtmotorisierter Verkehr - Unterhaltsfahrzeug - Schneelasten - Windlasten - Gleichmässige Temperaturänderungen - Lineare Temperaturänderung	- * - 0.50 0.50	0.40 - * - 0.60 0.60
Aussergewöhnliche Einwirkung Erdbeben	-	-
Einwirkungen aus dem Baugrund Erddruck	1.00	1.00

4. Nachweise Überbau

4.1. Statisches System und Modelleingaben

CUBUS Campusbrücke, Wattwil							Seite					
Bänziger Partner AG, 9470 Buchs							bgi		30.04.25, 09:21			
									Statik-9 - Rel. 242 (0)			
Struktur												
												
STRUKTUR 3D												
KNOTENDATEN												
Id		X [m]		Koordinaten Y [m]		Z [m]		DX	DY	Lagerung DZ RX RY RZ		Spezielles
K_3		0		0		0		B	B	B B		
K_4		47.70		0		0			B	B B		
!1		16.00		0		0						
!2		31.70		0		0						
B / E : blockiert / elastisch gefedert												
STABDATEN												
Id		Querschnitt Name>Variante		Knoten Anfang Ende		Länge [m]		Status		Spezielles		
S_8		AUFLAGER-RP		K_3		!1		16.00				
S_11		FELDMITTE-RP1		!1		!2		15.70				
S_12		FELDMITTE-RP1		!2		K_4		16.00				
		AUFLAGER-RP										
Stückliste für Stäbe mit Grundbaustoff S2												
QsName / (QsName2)			Fläche [m²]	Umfang [m]	Länge [m]	Anz.	Ltot [m]	Oberfläche [m²]	Masse [t]			
FELDMITTE-RP1			0.1715	6.85	15.70	1	15.70	107.53	21.54			
AUFLAGER-RP												
FELDMITTE-RP1					16.00	1	16.00	106.39	19.41			
FELDMITTE-RP1												
AUFLAGER-RP					16.00	1	16.00	106.39	19.41			
Total								320.31	60.37			
Querschnitte: Geometrie												
Name		Variante	Baustoffe	Typ	Abmessungen [m]							
AUFLAGER-RP			S2	Fagus	b=3.04, h=0.52 y _L =-1.52, y _R =1.52, z _B =0, z _T =0.52							
FELDMITTE-RP1			S2	Fagus	b=3.04, h=0.83 y _L =-1.52, y _R =1.52, z _B =0, z _T =0.83							
Baustoffe : s. Tabelle 'Baustoffe'												
Querschnitte: Querschnittssteifigkeiten												
Name		Variante	β	EA _x GA _y GA _z [kN]	GJ _x EJ _y EJ _z [kNm²]	e _y e _z [m]	Masse QS Zusatzmasse [t/m]	Baustoffe				
AUFLAGER-RP			0	27691335.46 10680943.68 10680943.68	1311534.55 1260163.03 20691100.04	0 -0.29	1.05	S2				
FELDMITTE-RP1			0	36011195.49 13890032.55 13890032.55	3856958.63 4165962.95 26711786.99	0 -0.47	1.37	S2				
β : Winkel zw. y-Achse des Stabes und erster Hauptachse des Querschnitts												
e _y e _z : Distanz Schwerpunkt-Achspunkt												
Baustoffe : s. Tabelle 'Baustoffe'												
										Nr.:		

Querschnitte: Querschnittswerte

Querschnitt		Baustoffe E _{ref} G _{ref}	Ideelle Querschnittswerte					
Name	Variante		A _{x,id} = EA _x /E _{ref} [m ²]	J _{y,id} = EJ _y /E _{ref} [m ⁴]	J _{z,id} = EJ _z /E _{ref} [m ⁴]	J _{x,id} = GJ _x /G _{ref} [m ⁴]	A _{y,id} = GA _y /G _{ref} [m ²]	A _{z,id} = GA _z /G _{ref} [m ²]
AUFLAGER-RP		S2	0.1319	0.006001	0.098529	0.016192	0.1319	0.1319
FELDMITTE-RP1		S2	0.1715	0.019838	0.127199	0.047617	0.1715	0.1715

Baustoffe : s. Tabelle 'Baustoffe'

Baustoffe

ID	Typ	Bauteil	E [kN/mm ²]	G [kN/mm ²]	v	ρ [t/m ³]	α [‰]	Klasse
S2	Baustahl	(allgemein)	210	81	0.30	8.0	0.012	S355

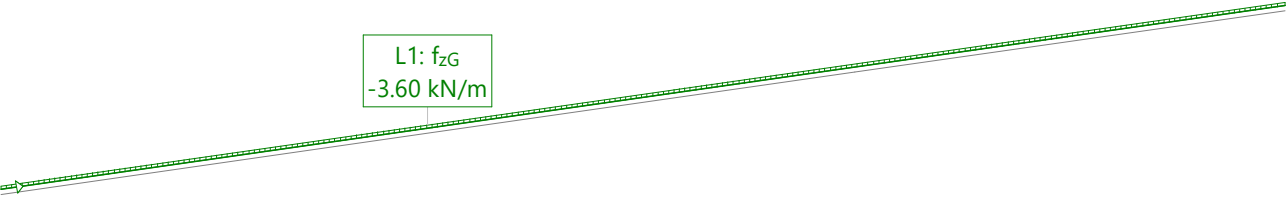
Baustoffklasse Baustahl

ID	Klasse	-f _y [N/mm ²]	E _s [kN/mm ²]	f _y [N/mm ²]	ε _{uk} [‰]	f _{tk} [N/mm ²]
S2	S355	-355.0	210	355.0	20.0	355.0

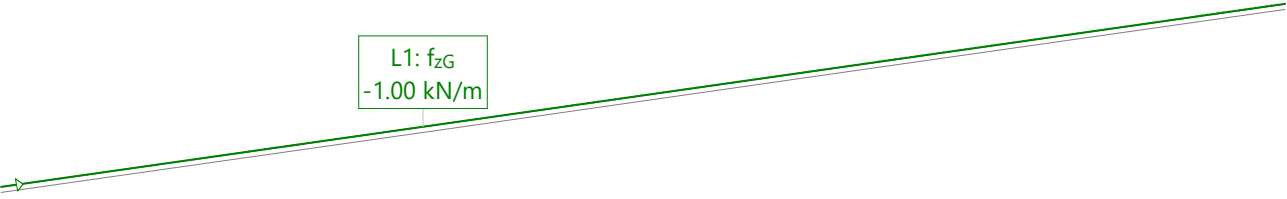
Belastung B0: Eigengewicht



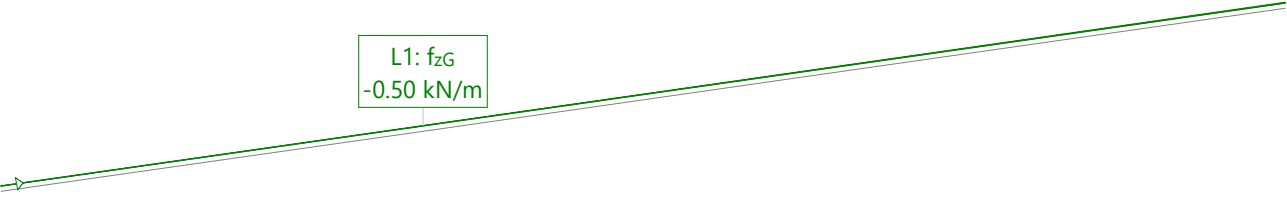
Belastung B1: Belag



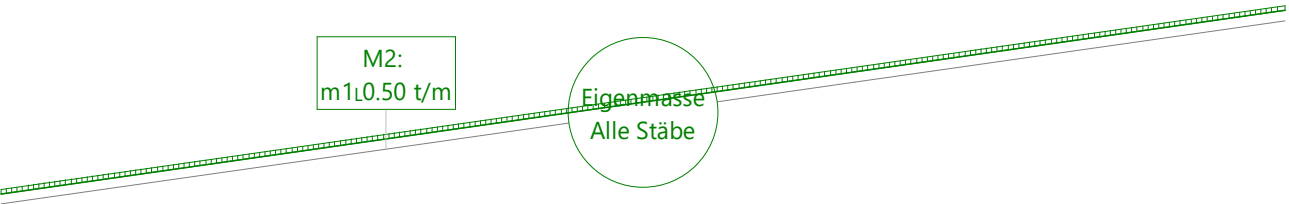
Belastung B2: Geländer



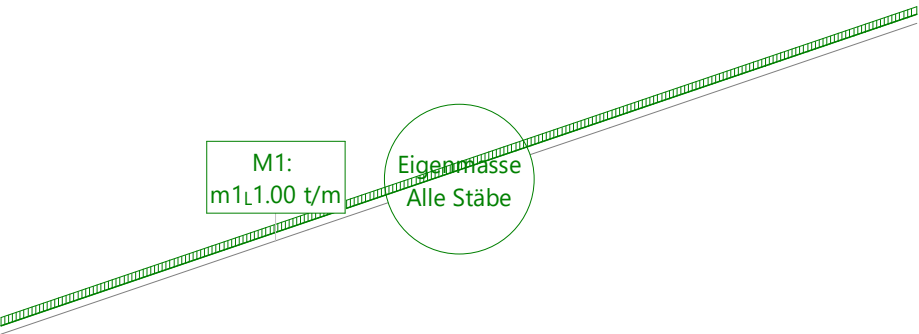
Belastung B3: Werkleitungen



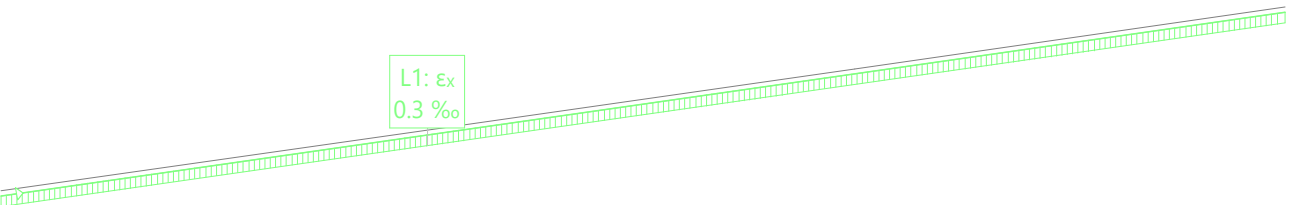
Massen M8: Masse für Schwingung



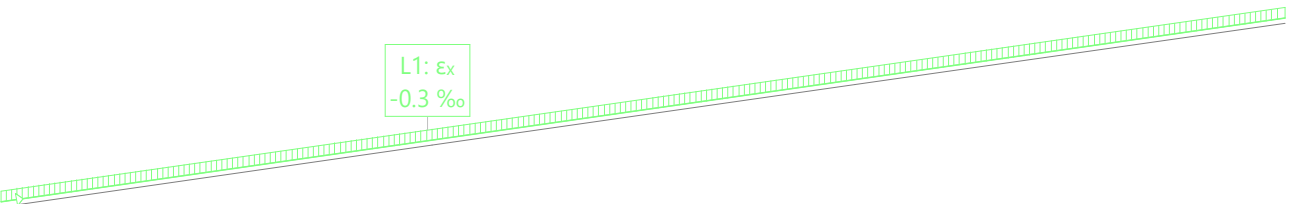
Massen M9: Häufig



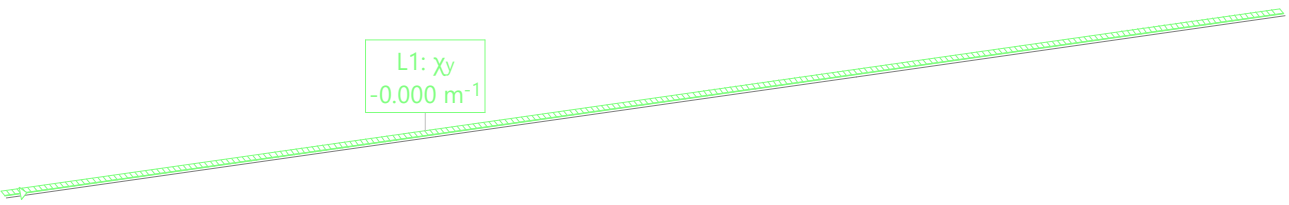
Belastung T1: Temperatur konst+



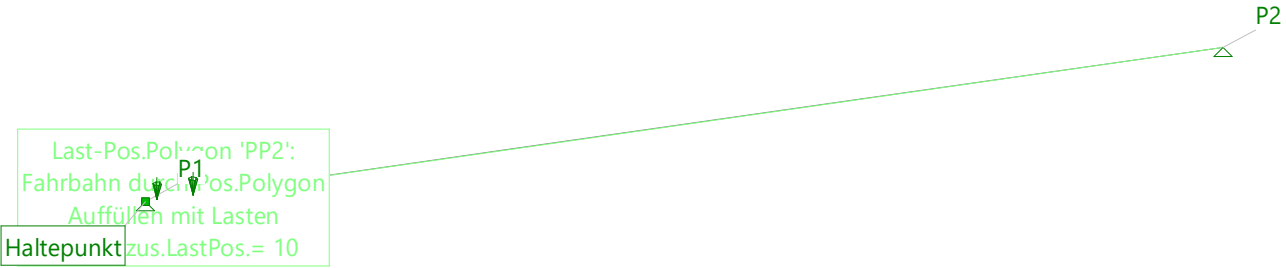
Belastung T2: Temperatur konst-



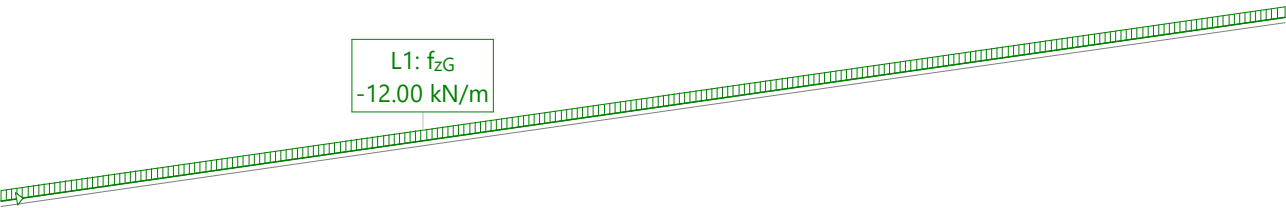
Belastung T3: Temperatur veränderlich oben warm



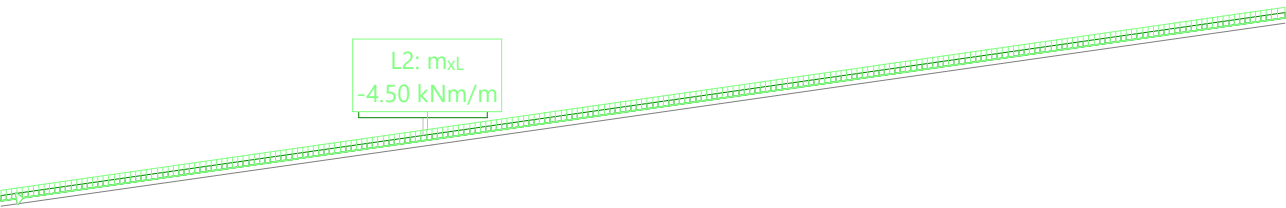
Generator UFZ: Unterhaltsfahrzeug



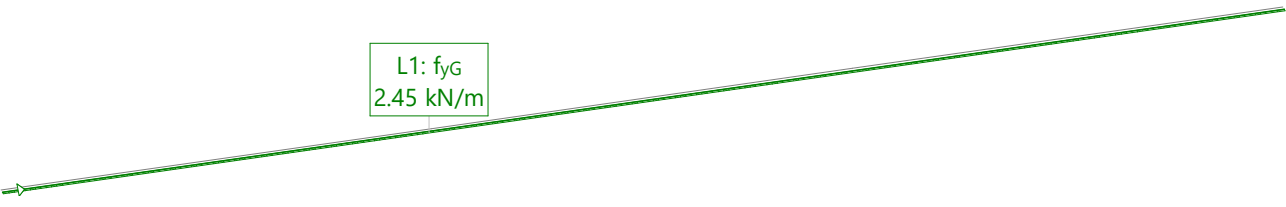
Belastung V1: Verkehr Fussgänger



Belastung V2: Verkehr Fussgänger EXZENTRISCH



Belastung W: Wind



4.2. Grenzzustand der Tragfähigkeit

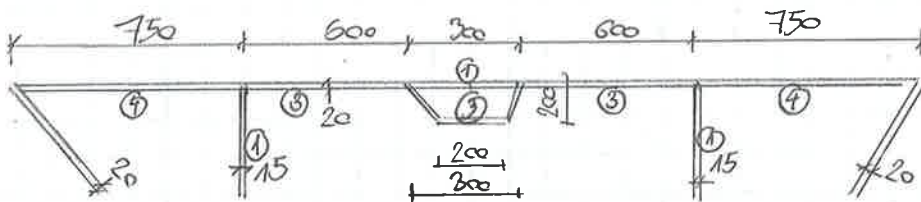
Tragfähigkeit in Längsrichtung

Bestimmung der Querschnittsklasse (Feldmitte)

• Obergurt / Fahrbahnplatte:

reiner Druck

$$\epsilon = 0,814 \quad (S355)$$

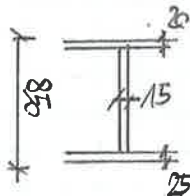


$$b/t = 750/20 = 37,5 > 42 \cdot 0,814 = 34,2 \Rightarrow \underline{QS 4}$$

$$b/t = 600/20 = 30 < 42 \cdot 0,814 = 34,2 \Rightarrow \underline{QS 3}$$

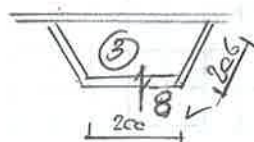
• Untergurt: reiner Zug QS 1

• Steg: reine Biegung



$$b/t = 805/15 = 53,7 < 72 \cdot 0,814 = 58,6 \Rightarrow \underline{QS 1}$$

• Steifen



Rein

42ε

$$\hookrightarrow t_{\min} \text{ für QS 3 } 206 \text{ mm} / 34,2 = 6 \text{ mm} \Rightarrow \underline{QS 3}$$

Wahl 8 mm

Grundsätzlich wird das Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch (EE) zugrunde gelegt. Einzig das Druckblech (Fahrbahnplatte) wird Elastisch-Elastisch reduziert (EER) berücksichtigt.

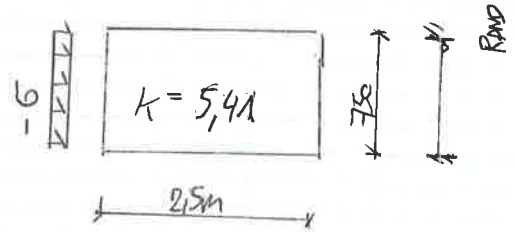
Wirksamer Querschnitt (QS 4)

$$b_{eff} = \rho b_c$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b/t}{28,4 \varepsilon \sqrt{f_k}} = \frac{750/20}{28,4 \cdot 0,814 \sqrt{54,1}} = 0,70$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,55(3+\psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \left[0,7 - 0,55(3+1)/0,7^2 \right] = 0,98$$

$$b_{eff} = 0,98 \cdot 750 = 735 \text{ mm}$$



Im Bereich des Auflagers wird das Fahrbahnblech auf 15mm reduziert
Daher muss in diesem Bereich der Querschnitt nochmals kontrolliert werden.

• Oberkante / Fahrbahnplatte $\rightarrow$ reine Decke

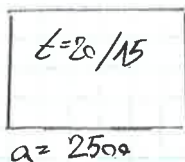
$$b/t = 750/15 = 50 > 34,2$$

$$b/t = 600/15 = 40 > 34,2$$

} QS 4

Wirksamer Querschnitt:	K	$\bar{\lambda}_p$	ρ	b_{eff}
B=750mm	5,41	0,98	0,98	616mm
B=600mm	6,97	0,655	1,0	600mm

Beulen infolge Schubspannungen (SIA 268 4.5.4 (2013))



$$\alpha = a/b = \frac{2500}{15} = 3,33 \quad k_z = 5,34 + \frac{4}{\alpha^2} = 5,70$$

$$\frac{2500}{600} = 4,17 \quad k_z = 5,34 + \frac{4}{\alpha^2} = 5,57$$

	k_z	$\bar{\lambda}_{cr} = k_z \sqrt{0,9 E} \left(\frac{t}{b} \right)^2$	$\sigma_{cr} = \frac{0,9 \sqrt{E} \cdot t}{\bar{\lambda}_{cr} \cdot b}$
2500/150	5,70	t=15: 673 MPa t=20: 1197 MPa	334 MPa 446 MPa
2500/600	5,57	t=15: 658 MPa t=20: 1170 MPa	331 MPa 440 MPa

$\sigma_{cr} = 805 \text{ MPa} \checkmark$
keine Beulgefahr

Grenzwertspezifikation: GZT-Fuss

Einwirkungskombinationen

Nr	Einwirkung Name	Fak	Einwirkungskombinationen									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Eigenlast	1	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0.8	0.8	0.8	0.8
2	Auflasten	1	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0.8	0.8	0.8	0.8
3	Lastmodell 1	1	1.5	1.5	0.4		0.4		1.5	1.5	0.4	
4	Wind	1	0.6		1.5	1.5	0.6	0.6	0.6		1.5	1.5
5	Temperatureinwirkung	1		0.6		0.6	1.5	1.5		0.6		0.6

Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

Einwirkungskombinationen - Fortsetzung

Nr	Einwirkungskombinationen	
	11	12
1	0.8	0.8
2	0.8	0.8
3	0.4	
4		0.6
5	1.5	1.5

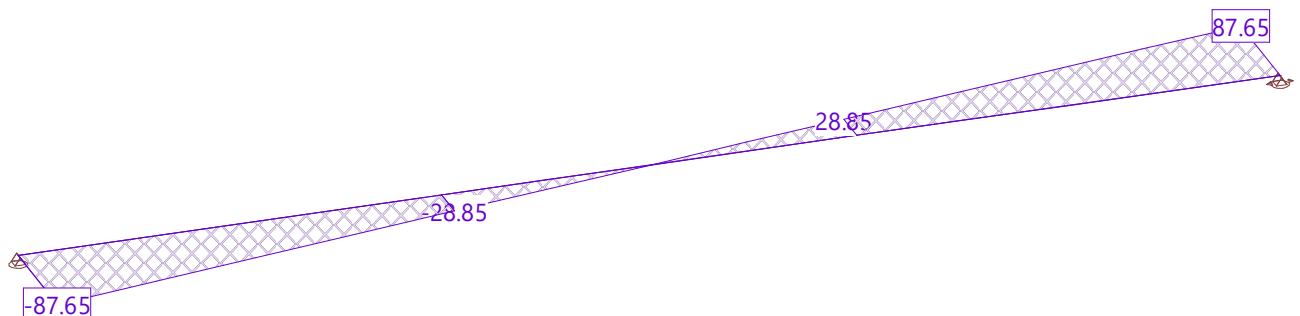
Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen

zu Grenzwertspezifikation GZT-Fuss

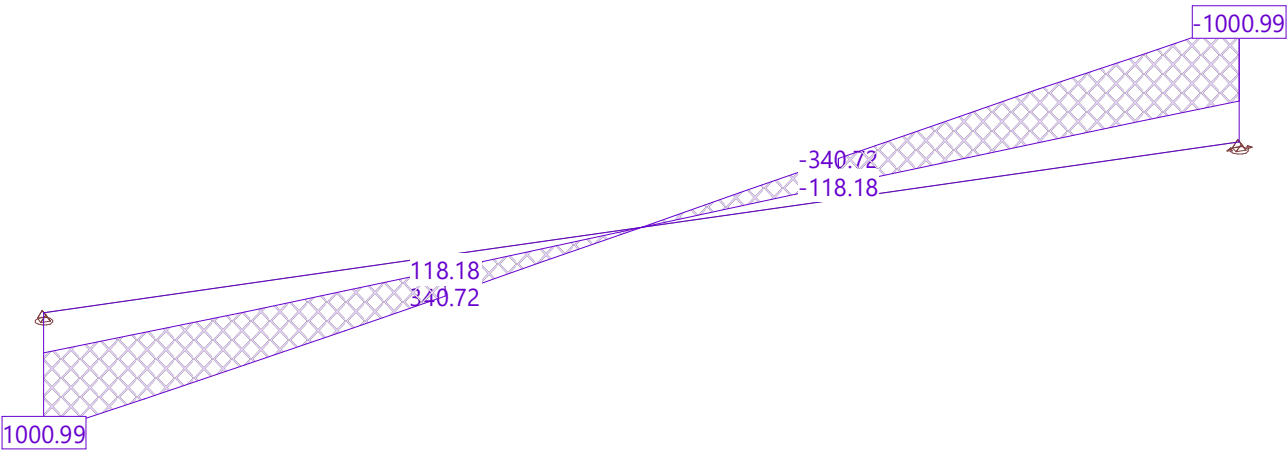
Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		B0 Eigengewicht	1.000	
Auflasten		ständig		B1 Belag	1.000	
		ständig		B2 Geländer	1.000	
		ständig		B3 Werkleitungen	1.000	
		ständig		V1 Verkehr Fussgänger	1.000	
Wind		wo massgebend		W Wind	1.000	
Temperatureinwirkung		wo massgebend		T1 Temperatur konst+	1.000	
		plus, wo massg.		T2 Temperatur konst-	1.000	
		plus, wo massg.		T3 Temperatur veränderlich oben war	1.000	

Alt : Alternative Überlagerung

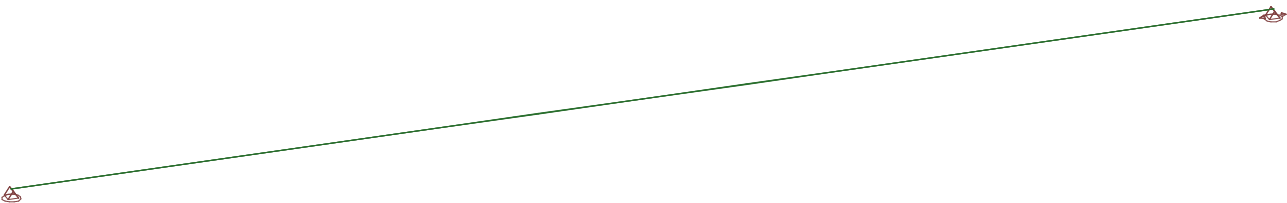
Schnittkraftgrenzwerte V_y (Stabachsen) [kN] für: GZT-Fuss



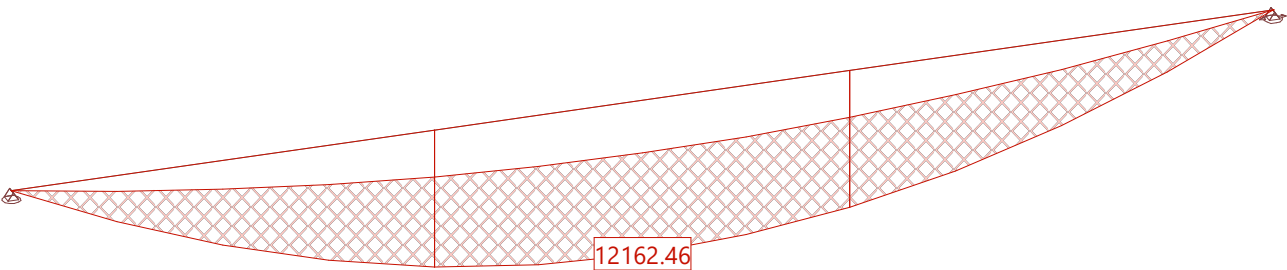
Schnittkraftgrenzwerte Vz (Stabachsen) [kN] für: GZT-Fuss



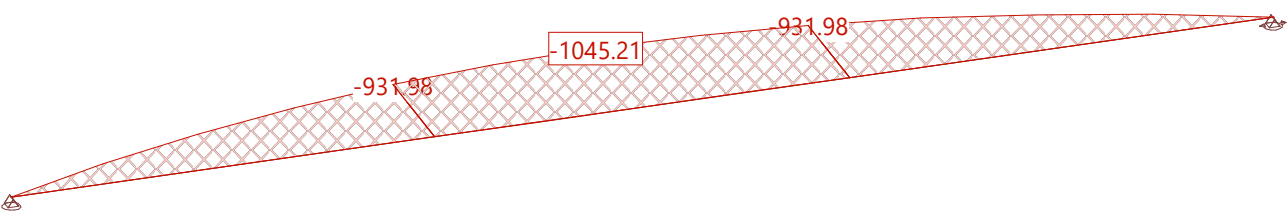
Schnittkraftgrenzwerte T (Stabachsen) [kNm] für: GZT-Fuss



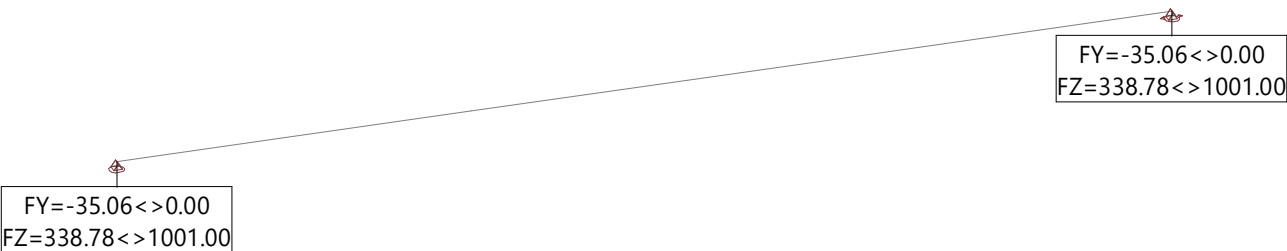
Schnittkraftgrenzwerte My (Stabachsen) [kNm] für: GZT-Fuss



Schnittkraftgrenzwerte Mz (Stabachsen) [kNm] für: GZT-Fuss



Reaktionsgrenzwerte für FZ und zugehörige Komponenten [kN]/[kNm], Spezifikation: GZT-Fuss



Grenzwertspezifikation: GZT-FussEX

Einwirkungskombinationen

Nr	Einwirkung Name	Fak	Einwirkungskombinationen									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Eigenlast	1	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0.8	0.8	0.8	0.8
2	Auflasten	1	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0.8	0.8	0.8	0.8
3	Lastmodell 1	1	1.5	1.5	0.4		0.4		1.5	1.5	0.4	
4	Wind	1	0.6		1.5	1.5		0.6	0.6		1.5	1.5
5	Temperatureinwirkung	1		0.6		0.6	1.5	1.5		0.6		0.6

Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

Einwirkungskombinationen - Fortsetzung

Nr	Einwirkungskombinationen	
	11	12
1	0.8	0.8
2	0.8	0.8
3	0.4	
4		0.6
5	1.5	1.5

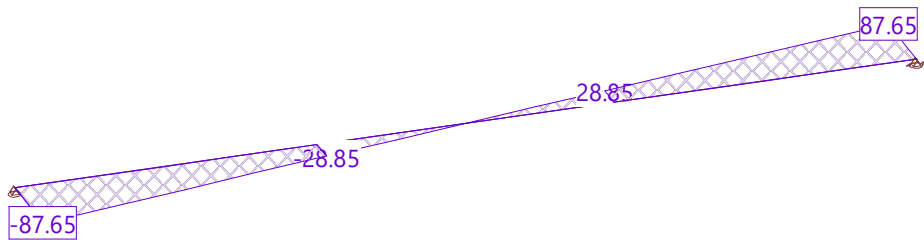
Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen

zu Grenzwertspezifikation GZT-FussEX

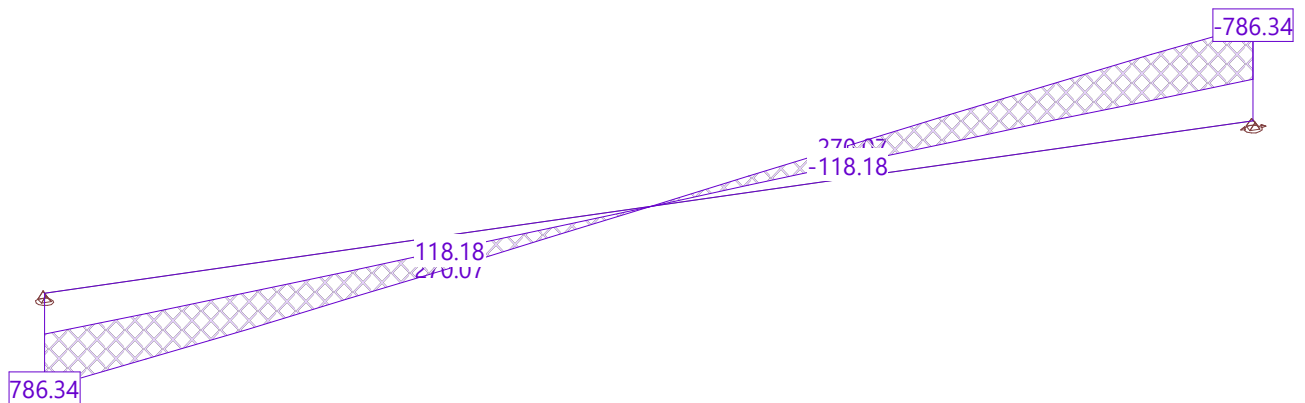
Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		B0 Eigengewicht	1.000	
Auflasten		ständig		B1 Belag	1.000	
		ständig		B2 Geländer	1.000	
		ständig		B3 Werkleitungen	1.000	
Lastmodell 1		ständig		V2 Verkehr Fussgänger EXZENTRISCH	1.000	
Wind		wo massgebend		W Wind	1.000	
Temperatureinwirkung		wo massgebend		T1 Temperatur konst+	1.000	
		plus, wo massg.		T2 Temperatur konst-	1.000	
		plus, wo massg.		T3 Temperatur veränderlich oben war	1.000	

Alt : Alternative Überlagerung

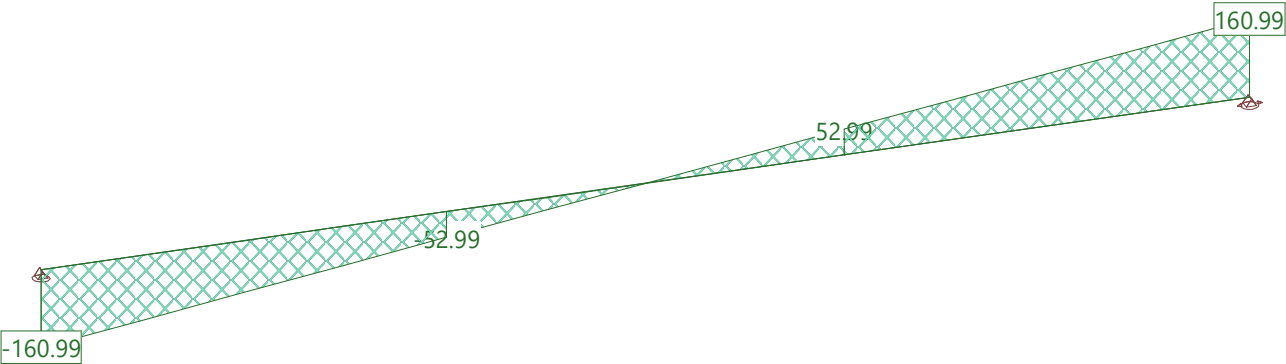
Schnittkraftgrenzwerte Vy (Stabachsen) [kN] für: GZT-FussEX



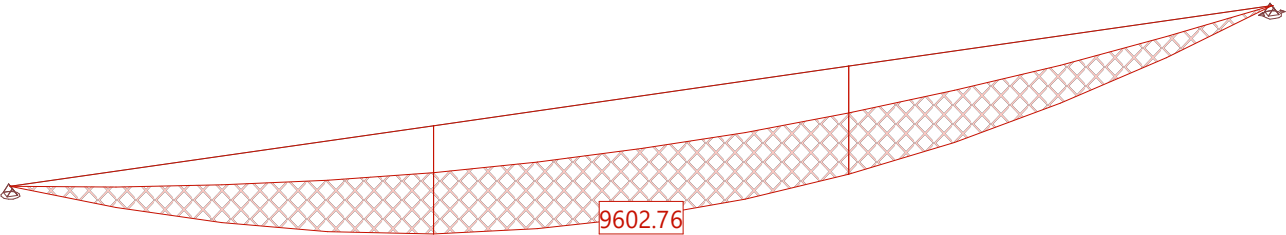
Schnittkraftgrenzwerte Vz (Stabachsen) [kN] für: GZT-FussEX



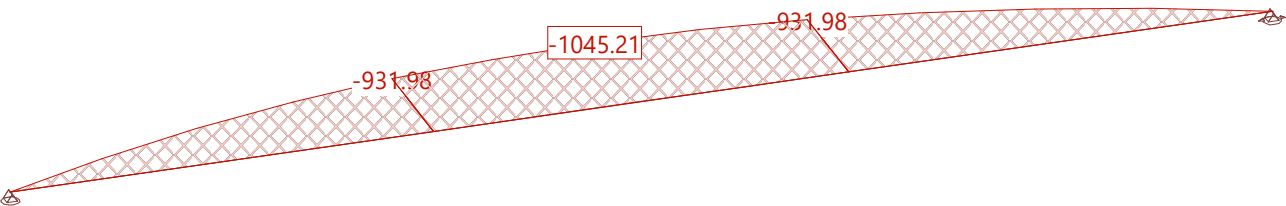
Schnittkraftgrenzwerte T (Stabachsen) [kNm] für: GZT-FussEX



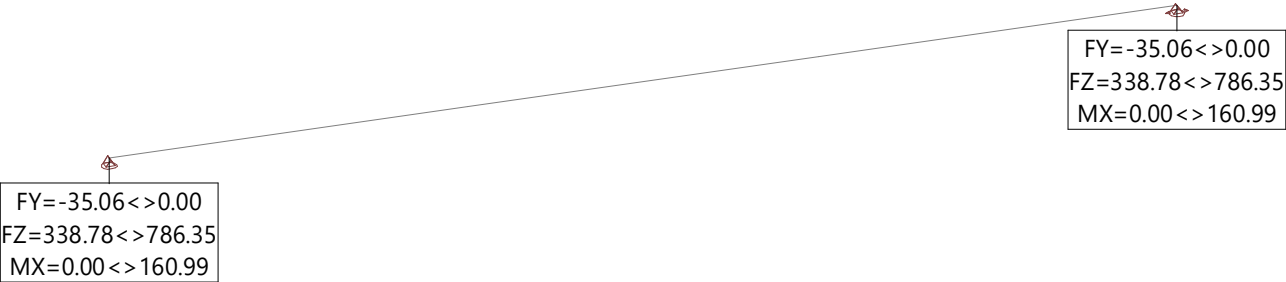
Schnittkraftgrenzwerte My (Stabachsen) [kNm] für: GZT-FussEX



Schnittkraftgrenzwerte Mz (Stabachsen) [kNm] für: GZT-FussEX



Reaktionsgrenzwerte für FZ und zugehörige Komponenten [kN]/[kNm], Spezifikation: GZT-FussEX



Grenzwertspezifikation: Unterhaltsfahrzeug

Einwirkungskombinationen

Nr	Einwirkung Name	Fak	Einwirkungskombinationen									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Eigenlast	1	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0.8	0.8	0.8	0.8
2	Auflasten	1	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0.8	0.8	0.8	0.8
3	Lastmodell 1	1	1.5	1.5	0.4		0.4		1.5	1.5	0.4	
4	Wind	1	0.6		1.5	1.5		0.6	0.6		1.5	1.5
5	Temperatureinwirkung	1		0.6		0.6	1.5	1.5		0.6		0.6

Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

Einwirkungskombinationen - Fortsetzung

Nr	Einwirkungskombinationen	
	11	12
1	0.8	0.8
2	0.8	0.8
3	0.4	
4		0.6
5	1.5	1.5

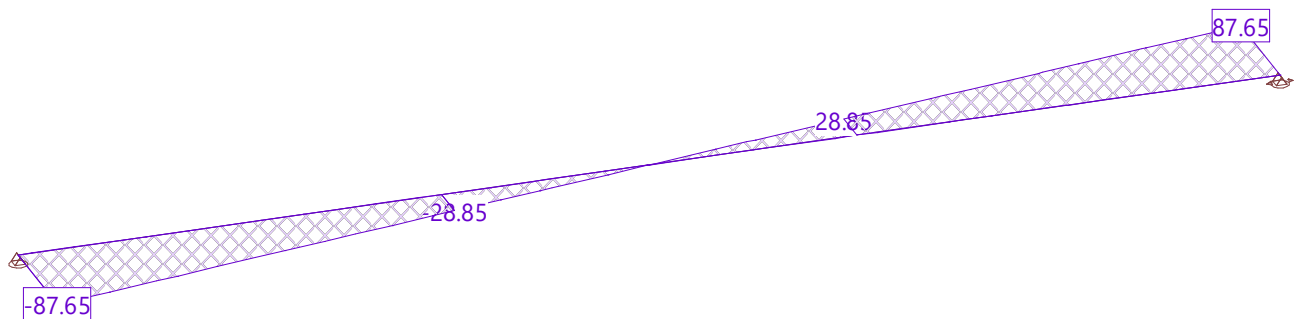
Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen

zu Grenzwertspezifikation Unterhaltsfahrzeug

Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		B0 Eigengewicht	1.000	
Auflasten		ständig		B1 Belag	1.000	
		ständig		B2 Geländer	1.000	
		ständig		B3 Werkleitungen	1.000	
		ständig				
Lastmodell 1		ständig	entwede	UFZ%1 Belastung Stellung: P1	1.000	
			oder	UFZ%1-1 Belastung Stellung: P1-1	1.000	
			oder	UFZ%1-2 Belastung Stellung: P1-2	1.000	
			oder	UFZ%1-3 Belastung Stellung: P1-3	1.000	
			oder	UFZ%1-4 Belastung Stellung: P1-4	1.000	
			oder	UFZ%1-5 Belastung Stellung: P1-5	1.000	
			oder	UFZ%1-6 Belastung Stellung: P1-6	1.000	
			oder	UFZ%1-7 Belastung Stellung: P1-7	1.000	
			oder	UFZ%1-8 Belastung Stellung: P1-8	1.000	
			oder	UFZ%1-9 Belastung Stellung: P1-9	1.000	
			oder	UFZ%1-10 Belastung Stellung: P1-10	1.000	
Wind		wo massgebend		W Wind	1.000	
Temperatureinwirkung		wo massgebend		T1 Temperatur konst+	1.000	
		plus, wo massg.		T2 Temperatur konst-	1.000	
		plus, wo massg.		T3 Temperatur veränderlich oben war	1.000	

Alt : Alternative Überlagerung

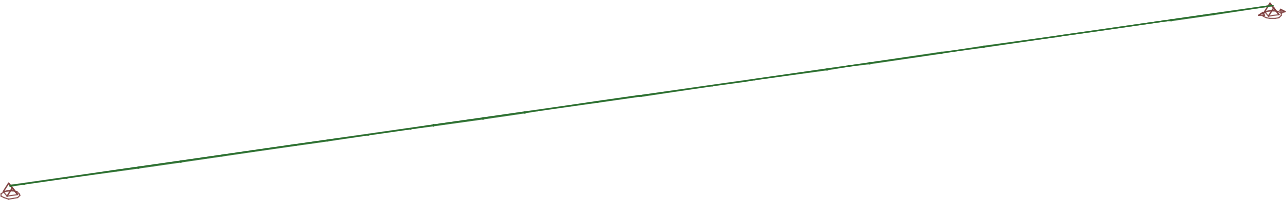
Schnittkraftgrenzwerte Vy (Stabachsen) [kN] für: Unterhaltsfahrzeug



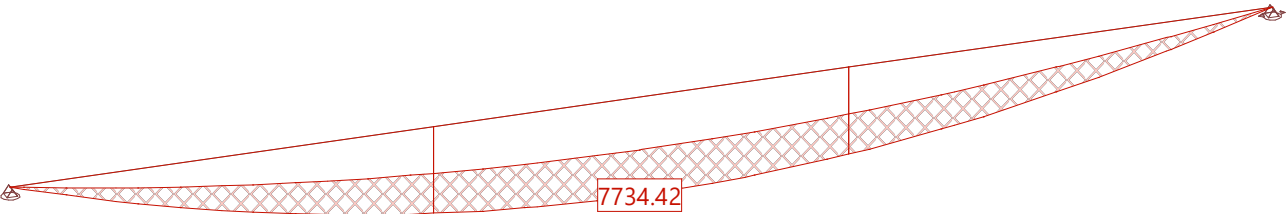
Schnittkraftgrenzwerte Vz (Stabachsen) [kN] für: Unterhaltsfahrzeug



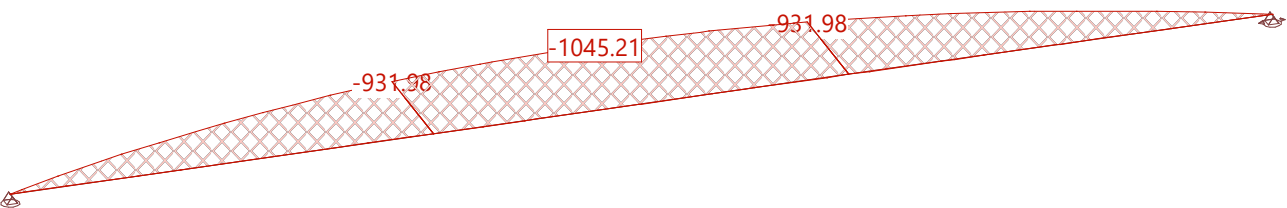
Schnittkraftgrenzwerte T (Stabachsen) [kNm] für: Unterhaltsfahrzeug

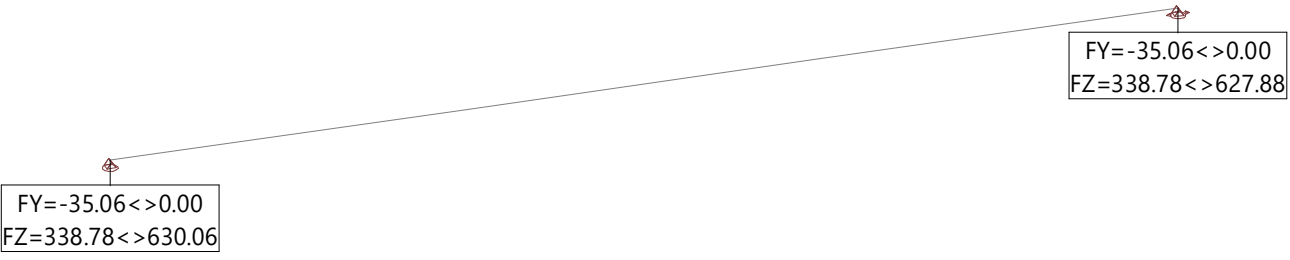


Schnittkraftgrenzwerte My (Stabachsen) [kNm] für: Unterhaltsfahrzeug



Schnittkraftgrenzwerte Mz (Stabachsen) [kNm] für: Unterhaltsfahrzeug



CUBUS Campusbrücke, Wattwil		Seite
		30.04.25, 09:21
Bänziger Partner AG, 9470 Buchs	bgi	Statik-9 - Rel. 242 (0)
Reaktionsgrenzwerte für FZ und zugehörige Komponenten [kN]/[kNm], Spezifikation: Unterhaltsfahrzeug  FY=-35.06<>0.00 FZ=338.78<>630.06 FY=-35.06<>0.00 FZ=338.78<>627.88		
		Nr.:

Zusammenfassung der Schnittkräfte

Auflager

Lastfall		LM1 zentrisch	LM1 exzentrisch	Unterhaltsfahrzeug
$V_{d,y}$	[kN]	-88	-88	-88
$V_{d,z}$	[kN]	1'001	786	630
T_d	[kNm]	-	-161	-
$M_{d,y}$	[kNm]	-	-	-
$M_{d,z}$	[kNm]	-	-	-
$F_{d,y}$ Auflager	[kN]	-88	-88	-88
$F_{d,z}$ MIN Auflager	[kN]	339	339	339
$F_{d,z}$ MAX Auflager	[kN]	1'001	786	630
$M_{d,x}$ Auflager	[kNm]	-	161	-

Übergang

Lastfall		LM1 zentrisch	LM1 exzentrisch	Unterhaltsfahrzeug
$V_{d,y}$	[kN]	-29	-29	-29
$V_{d,z}$	[kN]	341	270	236
T_d	[kNm]	-	-53	-
$M_{d,y}$	[kNm]	10'825	8'543	6'845
$M_{d,z}$	[kNm]	932	933	-932

Feldmitte

Lastfall		LM1 zentrisch	LM1 exzentrisch	Unterhaltsfahrzeug
$V_{d,y}$	[kN]	-	-	-
$V_{d,z}$	[kN]	-	-	-
T_d	[kNm]	-	-	-
$M_{d,y}$	[kNm]	12'162	9'603	7'734
$M_{d,z}$	[kNm]	1'045	1'045	-1'045

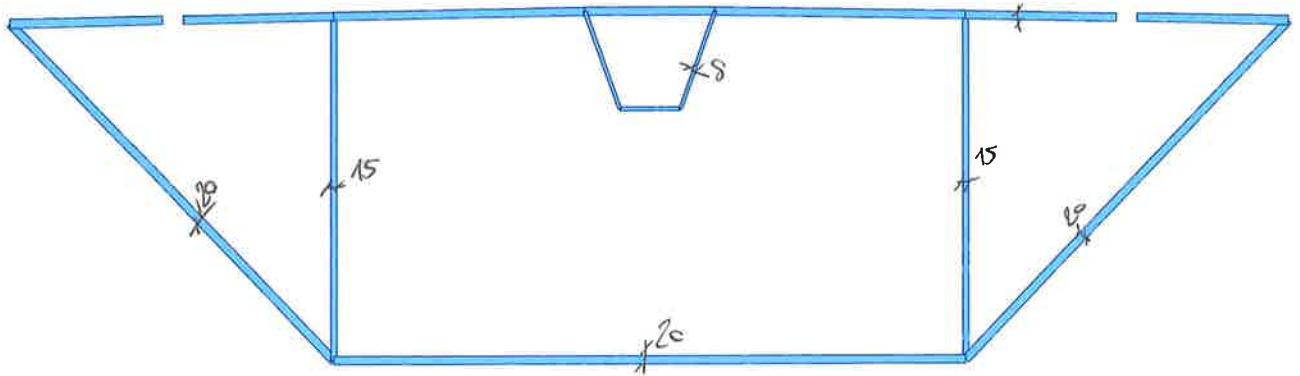
Grundsätzlich werden Spannungsnachweise geführt, wobei das mehrachsige Materialverhalten mit den Fließbedingungen nach von Mises beurteilt wird.

$$\sigma_{md} = \sqrt{\sigma_{xd}^2 + \sigma_{yd}^2 + \sigma_{zd}^2 - \sigma_{xd}\sigma_{yd} - \sigma_{xd}\sigma_{zd} - \sigma_{yd}\sigma_{zd} + 3[\tau_{xyd}^2 + \tau_{xz d}^2 + \tau_{yzd}^2]}$$

$$\text{mit } \sigma_{md} \leq \frac{\sigma_y}{\gamma_m} = \frac{355 \text{ MPa}}{1,05} = \underline{338 \text{ MPa}}$$

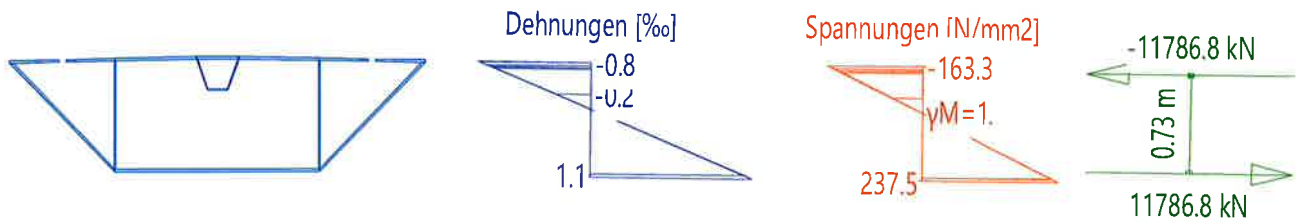
Querschnitt UEBERGANG (S355): Umriss

Mstb. 1 :18.0



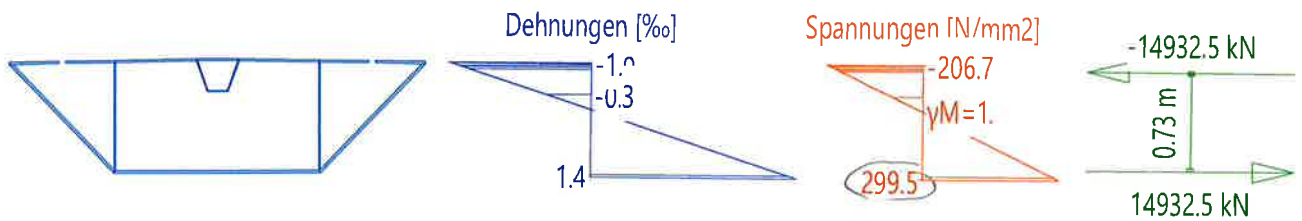
Mstb. 1 :55.6

Querschnitt UEBERGANG (S355): Spannungsanalyse mit Kräften (bezüglich Achspunkt) (bezüglich Achspunkt) $M_y=8543.0$; $M_z=932.0$; $V_y=-29.0$



Mstb. 1 :55.6

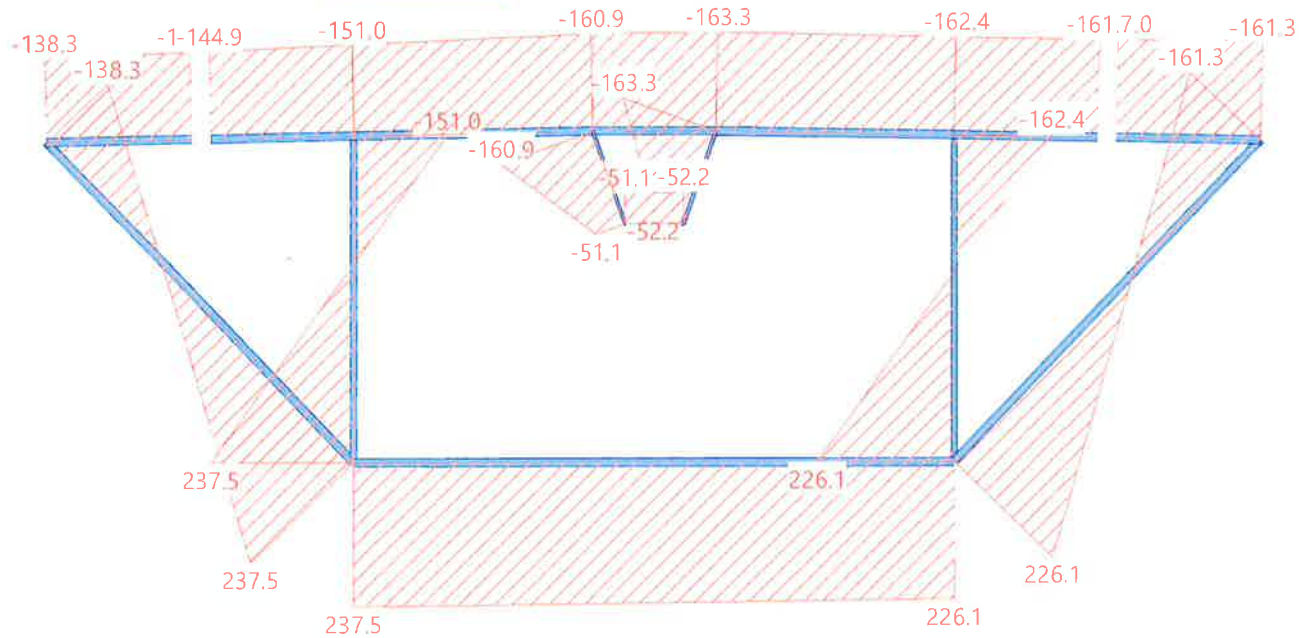
Querschnitt UEBERGANG (S355): Spannungsanalyse mit Kräften (bezüglich Achspunkt) (bezüglich Achspunkt) $M_y=10825.0$; $M_z=932.0$; $V_y=-29.0$



$$\sigma_{vd} = 299,5 \text{ MPa} < 338 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

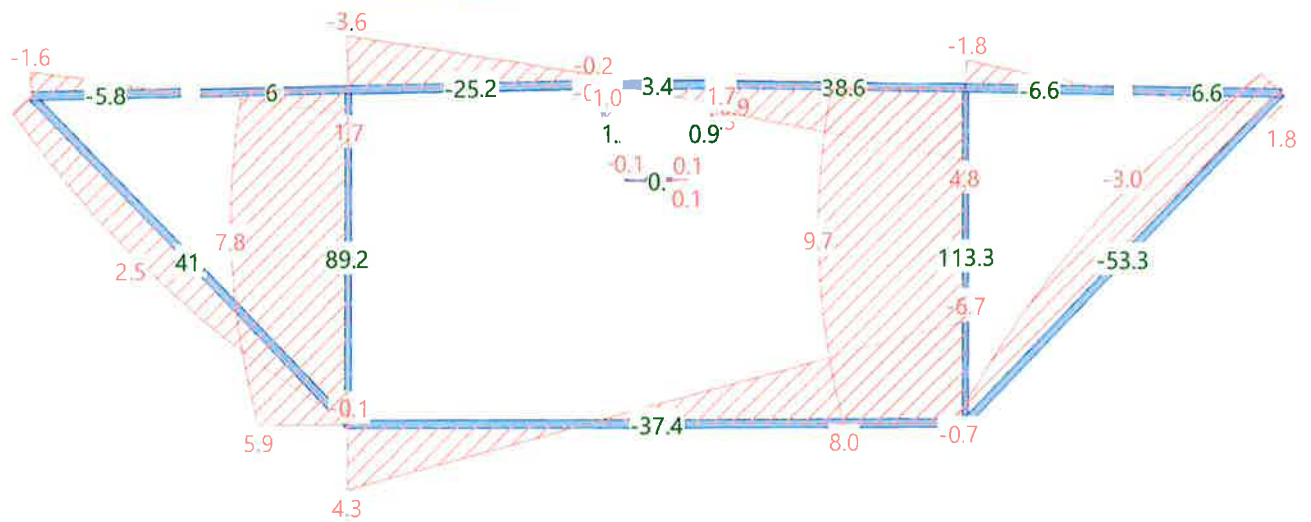
Querschnitt UEBERGANG (S355): Normalspannung σ [N/mm²] : $N_y=0.0$ $M_y=8543.0$ $M_z=932.0$ Bezugspunkt (A)

Mstb. 1 :18.9



Querschnitt UEBERGANG (S355): Schubspannung τ [N/mm²] : $V_y=29.0$ $V_z=270.0$ $T=-53.0$ Bezugspunkt (S)

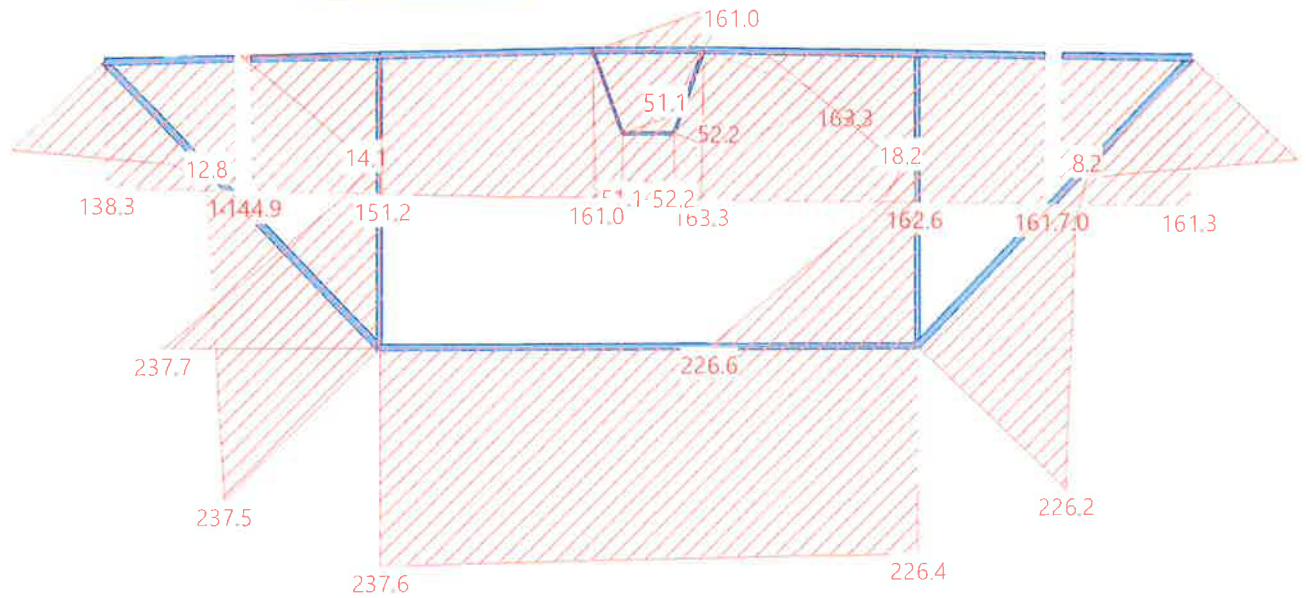
Mstb. 1 :18.4



Nr.:

Mstb. 1 :21.2

Querschnitt UEBERGANG (S355): Vergleichsspannung [N/mm²] : Ny=0.0 My=8543.0 Mz=932.0 Vy=29.0 Vz=270.0 T=-53.0 Bezugspunkt (A,

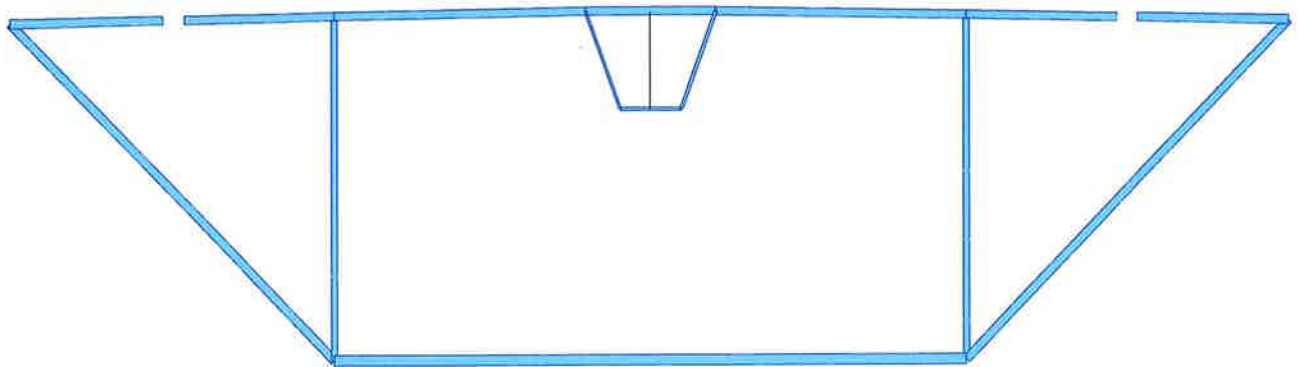


$$\Rightarrow G_{vd} = 238 \text{ MPa} \leq 338 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

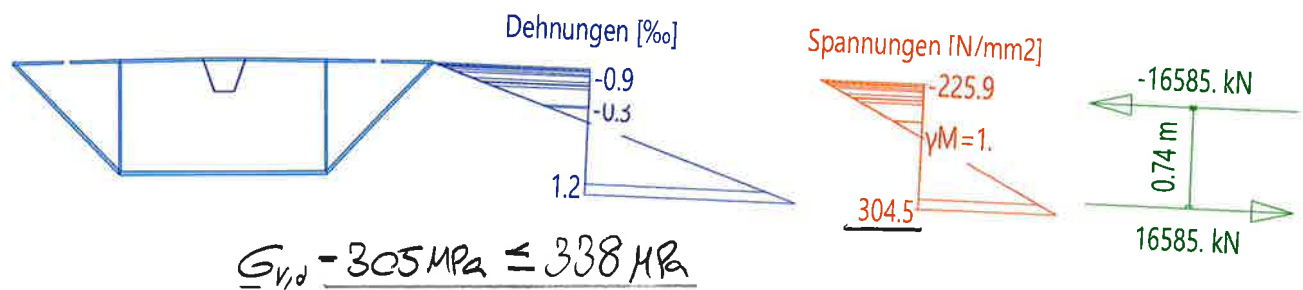
↳ Schubspannungen sehr klein

Querschnitt FELDMITTE (S355): Umriss

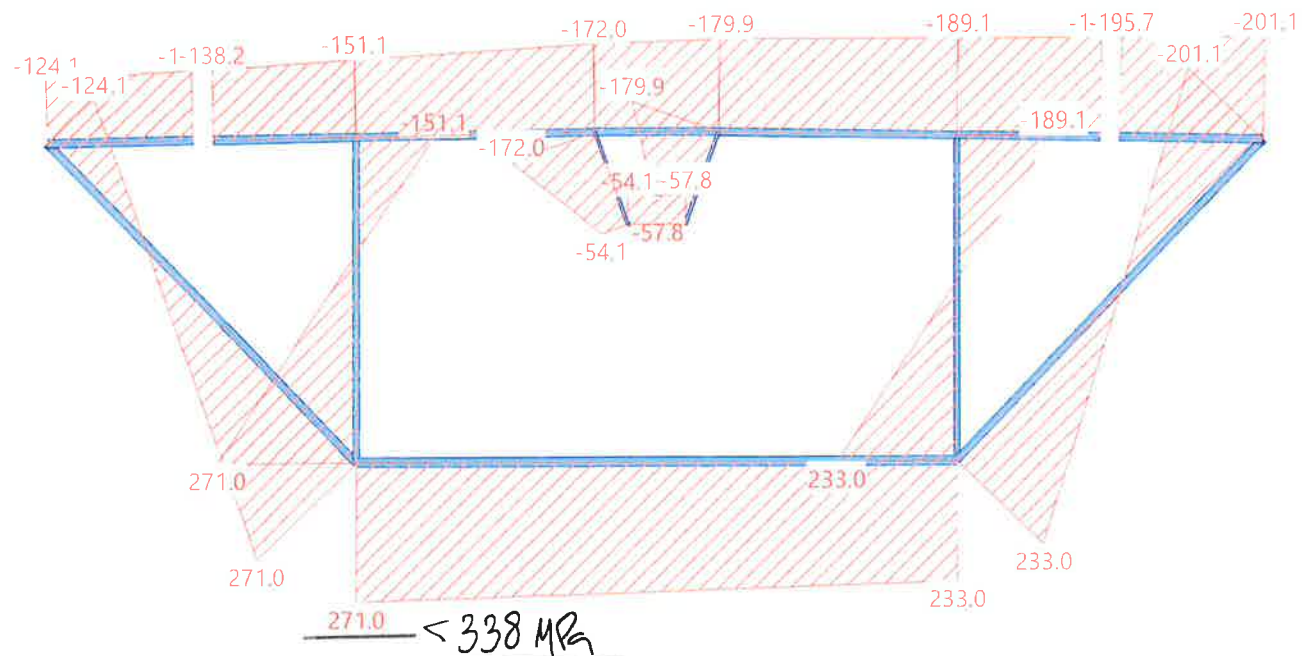
Mstb. 1 :18.0



Mstb. 1 :55.0

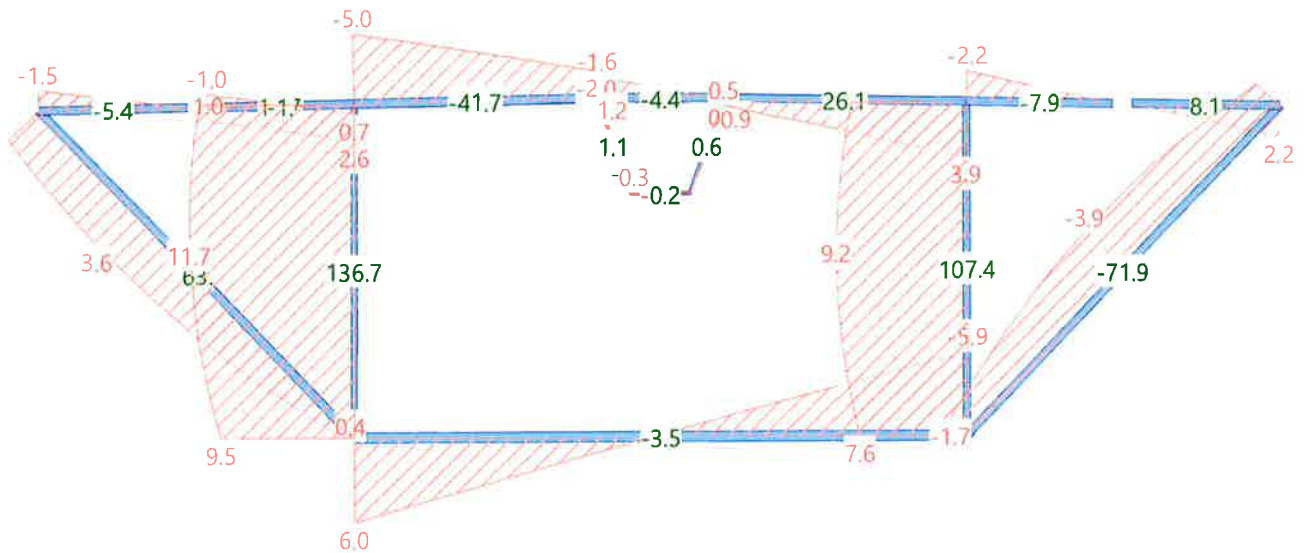
Querschnitt FELDMITTE (S355): Spannungsanalyse mit Kräften (bezüglich Achspunkt) (bezüglich Achspunkt) $M_y=12162.0$; $M_z=1045.0$;

Mstb. 1 :18.9

Querschnitt FELDMITTE (S355): Spannungsanalyse mit Kräften (bezüglich Achspunkt) (bezüglich Achspunkt) $M_y=12162.0$; $M_z=1045.0$; Norme

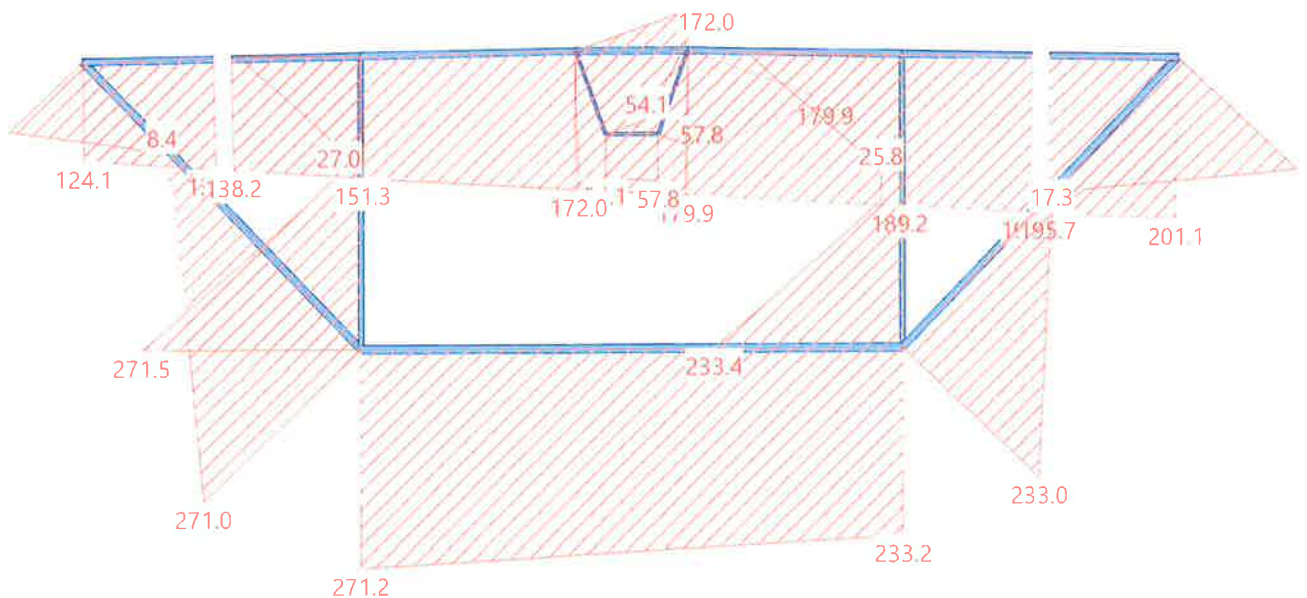
Mstb. 1 :18.5

Querschnitt FELDMITTE (S355): Spannungsanalyse mit Kräften (bezüglich Achspunkt) (bezüglich Achspunkt) $M_y=12162.0$; $M_z=1045.0$; Schub

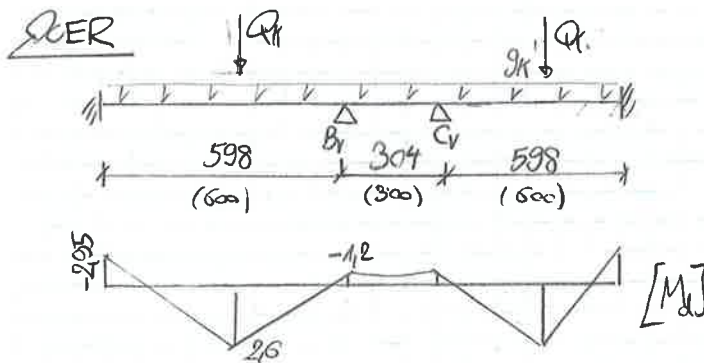


Mstb. 1 :21.0

Querschnitt FELDMITTE (S355): Spannungsanalyse mit Kräften (bezüglich Achspunkt) (bezüglich Achspunkt) $M_y=12162.0$; $M_z=1045.0$; Vergle

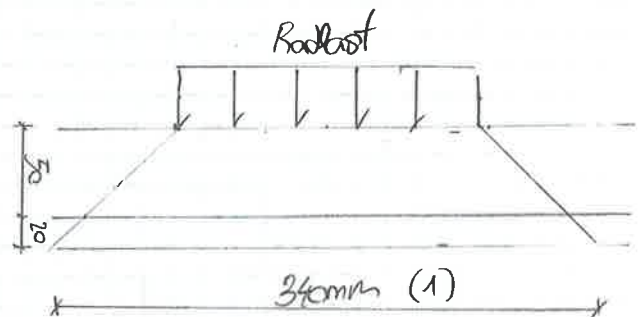
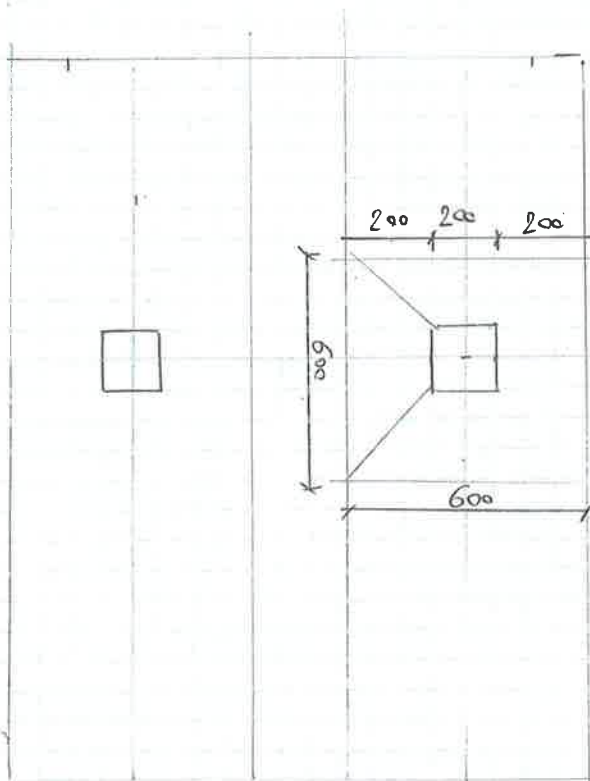


Detailnachweis Fahrbahnblech



$$g_k = 0,02 \text{ m} \times 7850 \text{ kg/m}^3 + 0,05 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 2,77 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 20 \text{ kN}$$

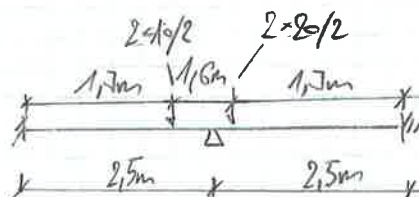
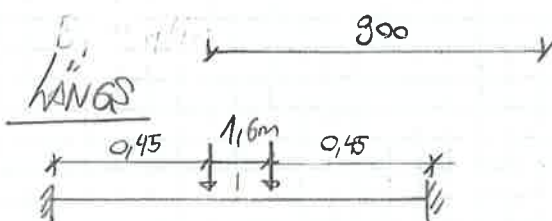


$$① M_{Rd} = \frac{340 \times 20^3}{6} \times \frac{355}{1,05} = 7,66 \text{ kNm}$$

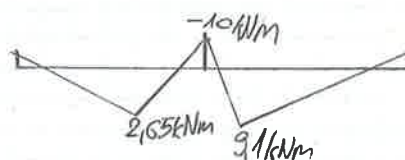
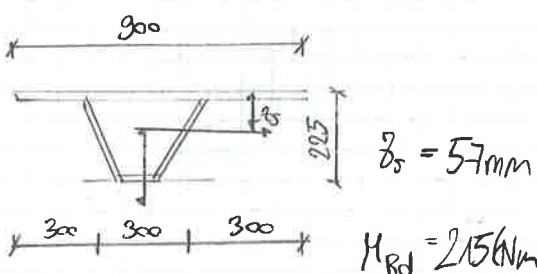
$$\eta = 2,6 \text{ kNm} / 7,85 \text{ kNm} = 0,34 < 1,00$$

$$② M_{Rd} = \frac{600 \times 20^3}{6} \times \frac{355}{1,05} = 13,5 \text{ kNm}$$

$$\eta = 2,95 \text{ kNm} / 13,5 \text{ kNm} = 0,22 < 1,0$$

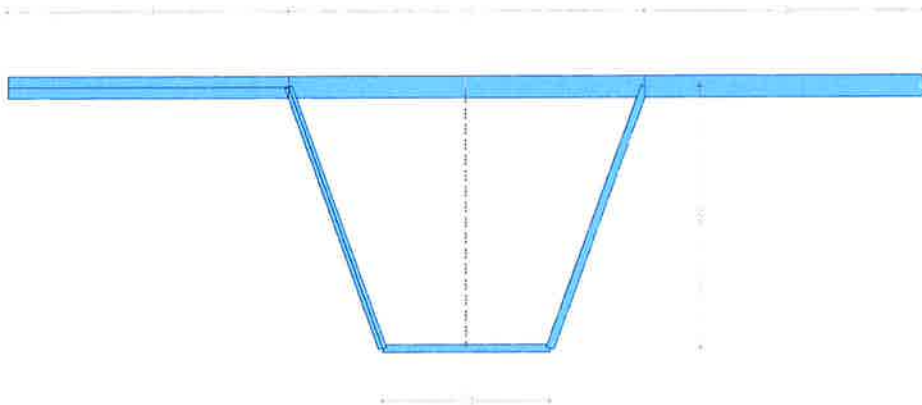


$$g_k = 0,02 \text{ m} \times 2,77 \text{ kN/m}^2 = 2,5 \text{ kN/m}$$



Bemessung des Trapezblechs - Knickstabähnliches VerhaltenFeldlänge $L := 2.5 \text{ m}$ Knicklänge $L_K := 0.5 \cdot L = 1.25 \text{ m}$
Eulerfall IVFließgrenze $f_y := 355 \text{ MPa}$ Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M1} := 1.05$ Plattenstärke $t := 20 \text{ mm}$ $\varepsilon := .814$ Mitwirkende Breite seitlich $b := 15 \cdot \varepsilon \cdot t = 0.2442 \text{ m}$

Querschnittsgeometrie



Querschnittsfläche

$$A := 0.0205 \text{ m}^2$$

Trägheitsmoment

$$I_y := 0.000098 \text{ m}^4$$

E-Modul

$$E := 210 \text{ GPa}$$

Einwirkung

$$N_{Ed} := \frac{12163 \text{ kN m}}{0.74 \text{ m}} \cdot \frac{0.91 \text{ m}}{3 \text{ m}} = 4985.7342 \text{ kN}$$

Eulerische Knickspannung

$$\sigma_{cr,K} := \frac{\pi \cdot I_y \cdot E}{L_K^2 \cdot A} = 2018.4656 \text{ MPa}$$

Imperfektionsbeiwert

$$\alpha_k := 0.49$$

bezogene Schlankheit

$$\lambda_{kq} := \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,K}}} = 0.4194 \quad \lambda_k := L_K \cdot \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 18.079$$

$$\phi_K := 0.5 \cdot \left(1 + \alpha_k \cdot (\lambda_{kq} - 0.2) + \lambda_{kq}^2 \right) = 0.6417$$

Abminderungsfaktor Knicken

$$\chi_K := \frac{1}{\phi_K + \sqrt{\phi_K^2 - \lambda_{kq}^2}} = 0.7552$$

Spannung infolge Knicken

$$\sigma_v := \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{A \cdot \chi_K} = 338.1536 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$$

Spannungsnachweise

Einwirkung Unterhalt

$$F := 20 \text{ kN} \cdot 1.5$$

Einwirkendes Moment

$$M := \frac{F \cdot L}{4} = 18.75 \text{ kN m}$$

$$z := 230 \text{ mm} - 13 \text{ mm}$$

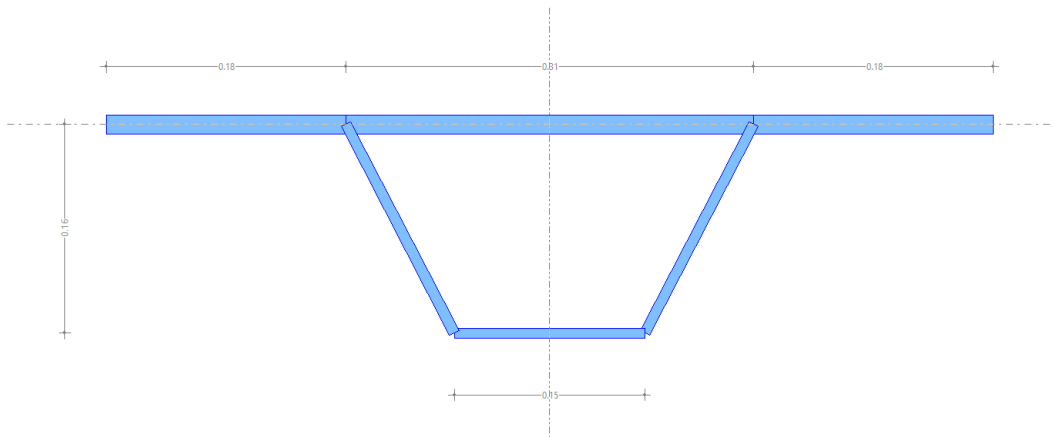
Spannungsnachweis

$$\sigma_{unten} := \frac{(-N_{Ed})}{A} + \frac{M}{I_y} \cdot z = -201.6887 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{oben} := \frac{(-N_{Ed})}{A} + \frac{M}{I_y} \cdot ((-13) \text{ mm}) = -245.6938 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$$

Bemessung des Trapezblechs - Knickstabähnliches Verhalten**Reduzierte Steife im Bereich Auflager**Feldlänge $L := 2.5 \text{ m}$ Knicklänge $L_K := 0.7 \cdot L = 1.75 \text{ m}$
Eulerfall IVFließgrenze $f_y := 355 \text{ MPa}$ Plattenstärke $t := 15 \text{ mm}$ Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M1} := 1.05$ $\varepsilon := .814$ Mitwirkende Breite seitlich $b := 15 \cdot \varepsilon \cdot t = 0.1832 \text{ m}$

Querschnittsgeometrie

Querschnittsfläche $A := 0.0143 \text{ m}^2$ Trägheitsmoment $I_y := 0.000044 \text{ m}^4$ E-Modul $E := 210 \text{ GPa}$ Einwirkung $N_{Ed} := \frac{6464 \text{ kN m}}{700 \text{ mm} \cdot .9} \cdot \frac{0.91 \text{ m}}{3 \text{ m}} = 3112.2963 \text{ kN}$ Eulerische Knickspannung $\sigma_{cr.K} := \frac{\pi \cdot I_y \cdot E}{L_K^2 \cdot A} = 662.8415 \text{ MPa}$ Imperfektionsbeiwert $\alpha_k := 0.49$ bezogene Schlankheit $\lambda_{kq} := \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr.K}}} = 0.7318$ $\lambda_k := L_K \cdot \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 31.5486$

$$\phi_K := 0.5 \cdot \left(1 + \alpha_k \cdot (\lambda_{kq} - 0.2) + \lambda_{kq}^2 \right) = 0.8981$$

Abminderungsfaktor Knicken $\chi_K := \frac{1}{\phi_K + \sqrt{\phi_K - \lambda_{kq}^2}} = 0.6666$ Spannung infolge Knicken $\sigma_v := \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{A \cdot \chi_K} = 342.8276 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$ **Spannungsnachweise**Einwirkung Unterhalt $F := 20 \text{ kN} \cdot 1.5$ Einwirkendes Moment $M := \frac{F \cdot L}{4} = 18.75 \text{ kN m}$ $z := 160 \text{ mm} - 13 \text{ mm}$

Spannungsnachweis $\sigma_{unten} := \frac{(-N_{Ed})}{A} + \frac{M}{I_y} \cdot z = -155.0011 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$

$\sigma_{oben} := \frac{(-N_{Ed})}{A} + \frac{M}{I_y} \cdot ((-13) \text{ mm}) = -223.1829 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$

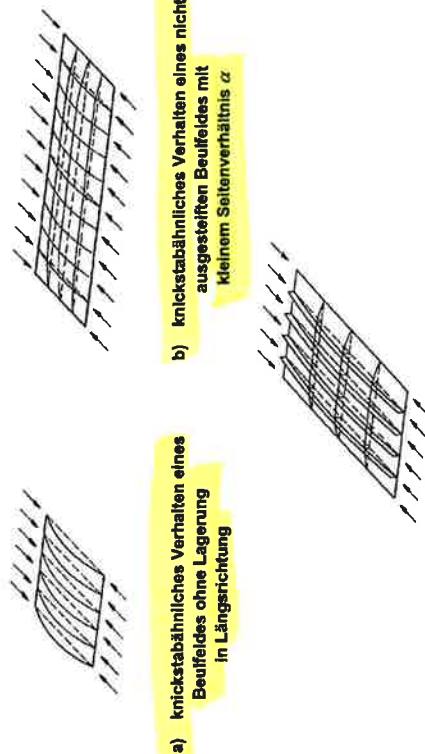


Bild 4.3 — Knickeinstellung des Beulfeldes

Tabelle 4.1 — Zweiseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsstelle

Spannungsverteilung (Druck positiv)	Wirksame Breite b_{eff}
	$\psi = 1:$ $b_{eff} = \rho \cdot \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,5 b_{eff}$
	$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho \cdot \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5} b_{eff}$ $b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$
	$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b}(1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,6 b_{eff}$
$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1
Beulwert k_σ	4,0
	7,81
	0
	$0 > \psi > -1$
	$8,2/(1,05 + \psi)$
	23,9
	$5,98(1 - \psi)^2$

Tabelle 4.2 — Einseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsstelle

Spannungsverteilung (Druck positiv)	Wirksame Breite b_{eff}
	$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho c$
	$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho c(1 - \psi)$
$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1
Beulwert k_σ	0,43
	0
	$1 \geq \psi \geq -3$
	0,57
	$0,57 - 0,21 \psi + 0,07 \psi^2$
	$b_{eff} = \rho c$
	$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho c$
	$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho c(1 - \psi)$
$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1
Beulwert k_σ	0,43
	$1 > \psi > 0$
	0
	$0 > \psi > -1$
	$1,7 - 0,5 \psi + 17,1 \psi^2$
	23,8

4.5 Längs ausgesteifte Blechfelder

4.5.1 Allgemeines

- (1) Bei längs ausgesteiften Blechfeldern sind in der Regel sowohl die wirksamen Flächen infolge lokalen Beulens der Einzelfelder im Blech und in den Steifen als auch die wirksamen Flächen aus den Gesamtblechfeldern des aussteiften Gesamtbleches zu berücksichtigen.
- (2) In einer zweischrittigen Vorgehensweise sind in der Regel zunächst die wirksamen Flächen der Einzelfelder mit Hilfe des Abminderungsfaktors nach 4.4 zur Berücksichtigung des Einzelfeldbeulens zu bestimmen. Im zweiten Schritt ist in der Regel die wirksame Fläche des aussteiften Gesamtbleches aus den wirksamen Flächen der Steifen mit Hilfe des Abminderungsfaktors ρ zur Berücksichtigung des Gesamtblechbeulens (z. B. über das Modell der äquivalenten orthotropen Platte) zu ermitteln.

- (2) Die elastische kritische Knickspannung $\sigma_{cr,c}$ eines unausgesteiften Blechfeldes darf mit

$$\sigma_{cr,c} = \frac{\pi^2 E t^2}{12 (1 - \nu^2) a^2} \quad (4.8)$$

bestimmt werden.

- (3) Bei einem ausgesteiften Blechfeld darf $\sigma_{cr,c}$ mit Hilfe der Knickspannung $\sigma_{cr,st}$ der am höchstbelasteten Druckrand liegenden Steife ermittelt werden:

$$\sigma_{cr,st} = \frac{\pi^2 E I_{s,t,1}}{A_{s,t,1} a^2} \quad (4.9)$$

Dabei ist

$I_{s,t,1}$ das Flächenträgheitsmoment unter Ansatz der Bruttoquerschnittsfläche der als Ersatzdruckstab betrachteten Steife und der angrenzenden mittragenden Blechstreifen bezogen auf Knicken senkrecht zur Blechebene;

$A_{s,t,1}$ die Bruttoquerschnittsfläche des Ersatzdruckstabes, die sich aus der Steife und den angrenzenden mittragenden Blechstreifen entsprechend Bild A.1 zusammensetzt.

ANMERKUNG Der Wert $\sigma_{cr,c}$ kann aus $\sigma_{cr,c} = \sigma_{cr,st} \frac{b_c}{b_{s,t,1}}$ ermittelt werden, wobei $\sigma_{cr,c}$ für den Druckrand gilt. $b_{s,t,1}$ und b_c bezeichnen die Abstände aus der Spannungsverteilung, die für die Extrapolation benötigt werden, siehe Bild A.1.

- (4) Der Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_c$ des Ersatzdruckstabes ist wie folgt definiert:

$$\bar{\lambda}_c = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,c}}} \quad \text{bei nicht ausgesteiften Blechfeldern} \quad (4.10)$$

$$\bar{\lambda}_c = \sqrt{\frac{\beta_{A,c} f_y}{\sigma_{cr,c}}} \quad \text{bei ausgesteiften Blechfeldern} \quad (4.11)$$

Dabei ist

$$\beta_{A,c} = \frac{A_{s,t,1} e_{eff}}{A_{s,t,1}}$$

$A_{s,t,1}$ nach 4.5.3(3) und

$A_{s,t,1,eff}$ die wirksame Querschnittsfläche der Steife und der angrenzenden mittragenden Blechstreifen unter Berücksichtigung des Beulens, siehe Bild A.1.

- (5) Der Abminderungsfaktor χ_c ist in der Regel nach EN 1993-1-1, 6.3.1.2 zu bestimmen. Der Imperfektionsbeiwert α hat bei nicht ausgesteiften Blechfeldern in der Regel der Knickkurve α mit $\alpha = 0,21$ zu entsprechen. Bei ausgesteiften Blechfeldern ist α in der Regel zur Berücksichtigung größerer Imperfektionen geschweifter Platten durch den vergrößerten Wert α_g :

$$\alpha_g = \alpha + \frac{0,09}{i/e} \quad (4.12)$$

zu ersetzen.

Dabei ist

$$i = \sqrt{\frac{I_{s,t,1}}{A_{s,t,1}}}$$

$e = \max(e_1, e_2)$ der größere der beiden Abstände nach Bild A.1, d. h. entweder der Abstand zwischen dem Schwerpunkt der vom Blech isoliert betrachteten, einseitig angebrachten Einzelsteifen ohne mitwirkende Breite (bei zweiseitig angebrachten Steifen wird hierbei nur eine Seite betrachtet) zur Schwerachse des ausgesteiften Blechfeldes oder der Abstand der Schwerachse des unausgesteiften Blechfeldes zur Mittelebene des Bleches;

$\alpha = 0,34$ (Kurve b) für Hohlsteifenquerschnitte;
 $= 0,49$ (Kurve c) für offene Steifenquerschnitte.

4.5.4 Interaktion zwischen plattenartigem und knickstabähnlichem Verhalten

- (1) Der endgültige Abminderungsfaktor ρ_c wird in der Regel mit Hilfe der Interaktionsgleichung:

$$\rho_c = (\rho - \chi_c) \xi (2 - \xi) + \chi_c \quad (4.13)$$

ermittelt.

Dabei ist

$$\xi = \frac{\sigma_{cr,p}}{\sigma_{cr,c}} - 1 \quad \text{jedoch } 0 \leq \xi \leq 1;$$

$\sigma_{cr,p}$ die elastische Plattenbeulspannung, siehe A.1(2);

$\sigma_{cr,c}$ die elastische Knickspannung, siehe 4.5.3(2) und (3);

χ_c der Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung knickstabähnlichen Verhaltens;

ρ der Abminderungsbeiwert zur Berücksichtigung des Plattenbeulens, siehe 4.4(1).

4.6 Nachweis

- (1) Der Bauteilnachweis mit Hilfe wirksamer Querschnittsgrößen für Längsspannungen lautet in der Regel wie folgt:

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} e_N}{f_y W_{eff}} \leq 1,0 \quad (4.14)$$

- (3) Die wirksame Fläche der Druckzone eines ausgesteiften Blechfeldes ist in der Regel mit:

$$A_{c,eff} = \rho_c \cdot A_{c,eff,loc} + \sum b_{edge,eff} t \quad (4.5)$$

anzusetzen, wobei $A_{c,eff,loc}$ aus den wirksamen Flächen aller Steifen und Einzelfelder besteht, die sich ganz oder teilweise im Druckbereich befinden, mit Ausnahme derjenigen wirksamen Querschnittsteile der Breite $b_{edge,eff}$, die durch ein angrenzendes Plattenbauteil gestützt werden (siehe Beispiel in Bild 4.4).

- (4) Die Fläche $A_{c,eff,loc}$ ist in der Regel mit:

$$A_{c,eff,loc} = A_{s,eff} + \sum_c \rho_{loc} b_{c,loc} t \quad (4.6)$$

zu ermitteln.

Dabei ist

$\sum_c$ bezieht sich auf den im Druckbereich liegenden Teil des längs ausgesteiften Blechfeldes mit Ausnahme der Querschnittsteile $b_{edge,eff}$; siehe Bild 4.4;

$A_{s,eff}$ die Summe der wirksamen Fläche aller Längssteifen mit der Bruttoquerschnittsfläche $A_{s,g}$ in der Druckzone nach 4.4;

$b_{c,loc}$ die Breite der Druckzone in einem Einzelfeld;

ρ_{loc} der Abminderungsfaktor nach 4.4(2) für das Einzelfeld.

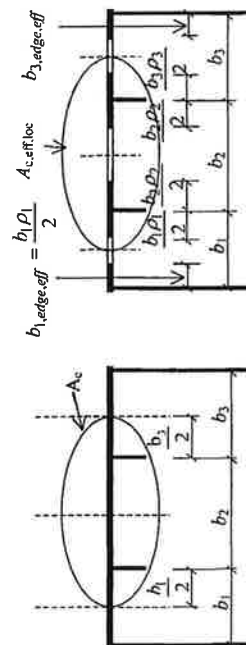


Bild 4.4 — Längsausgesteiftes Blechfeld unter konstanter Druckbeanspruchung

ANMERKUNG Bei nicht konstanter Verteilung der Druckspannungen siehe Bild A.1.

- (5) Bei der Ermittlung des Abminderungsfaktors ρ_c für das Gesamtfeldbeulen ist in der Regel auf die Möglichkeit knickstabähnlichen Verhaltens mit größerer Abminderung als beim Plattenbeulen zu achten.

- (6) Der Abminderungsfaktor ρ_c ist in der Regel durch Interpolation zwischen dem Abminderungsfaktor ρ für plattenartiges Verhalten und dem Abminderungsfaktor λ_c für knickstabähnliches Verhalten nach 4.5.4 zu ermitteln.

- (7) Die Abminderung der unter Druckbeanspruchung stehenden Fläche $A_{c,eff,loc}$ durch ρ_c darf als über diesen Gesamtquerschnitt gleichmäßig verteilt angenommen werden.

- (8) Sind mittragende Breiten zu berücksichtigen (siehe 3.3), ist in der Regel für die unter Druckbeanspruchung stehenden Querschnittsteile eines längs ausgesteiften Blechfeldes anstelle der wirksamen Querschnittsfläche $A_{c,eff}$ die effektive Querschnittsfläche $A_{c,eff}$ zur Berücksichtigung sowohl der Plattenbeuleffekte als auch der Effekte aus Schubverzerrungen zu verwenden.

- (9) Als wirksame Querschnittsfläche der unter Zug stehenden Flächen des ausgesteiften Beulfeldes ist in der Regel die Bruttofläche der Zugzone anzunehmen, wobei gegebenenfalls mittragende Breiten zu berücksichtigen sind, siehe 3.3.

- (10) Das wirksame Widerstandsmoment W_{eff} ist in der Regel als Flächenträgheitsmoment des wirksamen Gesamtquerschnitts geteilt durch den Randabstand zur Mittelebene des Gurtbleches anzusetzen.

4.5.2 Plattenartiges Verhalten

- (1) Der Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_p$ einer äquivalenten orthotropen Platte ist wie folgt definiert:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\beta_{A,c} \cdot f_y}{\sigma_{\sigma,p}}} \quad (4.7)$$

mit

$$\beta_{A,c} = \frac{A_{c,eff,loc}}{A_c}$$

Dabei ist

A_c die Bruttoquerschnittsfläche des längs ausgesteiften Blechfeldes ohne Berücksichtigung der durch ein angrenzendes Plattenbauteil gestützten Randbleche, siehe Bild 4.4 (A_c ist gegebenenfalls mit einem Faktor zur Berücksichtigung der Effekte aus Schubverzerrungen zu multiplizieren, siehe 3.3);

$A_{c,eff,loc}$ die effektive Querschnittsfläche (ggf. unter Berücksichtigung von Schubverzerrungen) des oben beschriebenen Bereiches des längsausgesteiften Blechfeldes unter Berücksichtigung des Einzelfeldbeulens und/oder des Gesamtfeldbeulens.

- (2) Der Abminderungsfaktor ρ für die äquivalente orthotrope Platte wird nach 4.4(2) bestimmt; Voraussetzung hierfür ist die Ermittlung von $\bar{\lambda}_p$ nach Gleichung (4.7).

ANMERKUNG Anhang A gibt Hinweise zur Berechnung von $\sigma_{\sigma,p}$.

4.5.3 Knickstabähnliches Verhalten

- (1) Als elastische kritische Knickspannung $\sigma_{cr,c}$ eines unausgesteiften Blechfeldes (siehe 4.4) oder eines ausgesteiften Blechfeldes (siehe 4.5) ist in der Regel die Knickspannung anzusetzen, die sich bei Freisetzten der Längsränder ergibt.

Dabei ist

- A_{eff} die wirksame Querschnittsfläche nach 4.3(3);
- e_N die Verschiebung der neutralen Achse nach 4.3(3);
- M_{Ed} der Bemessungswert des einwirkenden Biegemomentes;
- N_{Ed} der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft;
- W_{eff} das wirksame Widerstandsmoment, siehe 4.3(4);
- γ_{M0} der Teilsicherheitsbeiwert, siehe EN 1993-2 bis -6.

ANMERKUNG Gleichung (4.14) darf für Bauteile unter Normalkraft und zweiachsigter Biegung wie folgt erweitert werden:

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff}} + \frac{M_{yEd} + N_{Ed} e_{yN}}{f_y W_{y,eff}} + \frac{M_{zEd} + N_{Ed} e_{zN}}{f_y W_{z,eff}} \leq 1,0 \quad (4.15)$$

Dabei ist

- M_{yEd} , M_{zEd} die Bemessungswerte der einwirkenden Biegemomente um die y-y- bzw. die z-z-Achse;
- e_{yN} , e_{zN} die Verschiebungen der jeweiligen neutralen Achse.

- (2) Die Schnittgrößen M_{Ed} und N_{Ed} sind gegebenenfalls nach Theorie II. Ordnung zu berechnen.
- (3) Für eine längs des Beulfeldes veränderliche Spannung ist in der Regel der Beulnachweis für die Schnittgrößen an der Querschnittsstelle zu führen, die sich im Abstand 0,4 a oder 0,5 b (kleinster Wert) von dem Beulfeldrand befindet, an dem die größten Spannungen auftreten. In diesem Fall muss am Beulfeldrand zusätzlich ein Querschnittsnachweis geführt werden.

5 Schubbeulen

5.1 Grundlagen

(1) Die Regeln dieses Abschnittes zur Bestimmung der Querkrafttragfähigkeit von Plattenelementen unter Berücksichtigung von Schubbeulen gelten unter folgenden Voraussetzungen:

- die Beulfelder sind rechteckig und die Flansche näherungsweise parallel (siehe 2.3);
- soweit Steifen vorhanden sind, laufen diese in Längs- und/oder Querrichtung;
- Löcher oder Ausschnitte sind klein (siehe 2.3);
- die Bauteile sind gleichförmig.

- (2) Für nicht ausgesteifte Blechfelder mit einem Verhältnis $h_w/t > \frac{72}{\eta} \epsilon$ und für ausgesteifte Blechfelder mit einem Verhältnis $h_w/t > \frac{31}{\eta} \epsilon \sqrt{k_\sigma}$ ist in der Regel ein Schubbeulnachweis zu führen und es sind Querstreifen an den Lagern vorzusehen; es gilt:

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y \text{ (N/mm}^2\text{)}}}$$

ANMERKUNG 1 h_w ist in Bild 5.1 und k_σ in 5.3(3) angegeben.

ANMERKUNG 2 Der nationale Anhang kann η festlegen. Der Wert $\eta = 1,20$ wird empfohlen für Stahlsorten bis S460, für Stahlsorten höher als S460 wird $\eta = 1,0$ empfohlen.

5.2 Bemessungswert der Beanspruchbarkeit

(1) Bei nicht ausgesteiften und ausgesteiften Stegen ist in der Regel der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $V_{b,Rd}$ unter Berücksichtigung des Schubbeulens wie folgt zu ermitteln:

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \quad (5.1)$$

Der Beitrag des Steges ergibt sich zu:

$$V_{bw,Rd} = \frac{X_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \quad (5.2)$$

Der Beitrag der Flansche $V_{bf,Rd}$ wird nach 5.4 bestimmt.

(2) Steifen haben in der Regel den Anforderungen nach 9.3 zu genügen; die Schweißnähte sind in der Regel nach 9.3.5 auszubilden.

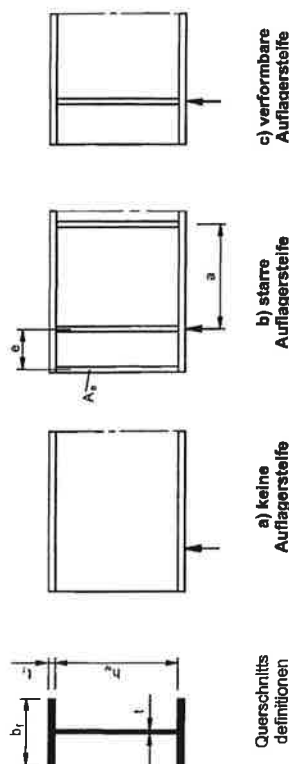


Bild 5.1 — Kriterien für Auflagersteifen

5.3 Beitrag des Steges

(1) Bei Stegen mit Querstreifen nur an den Auflagern (Auflagersteifen) und bei Stegen, die quer und/oder längs ausgesteift sind, ist in der Regel der Faktor X_w für den Stegbeitrag zur Beanspruchbarkeit nach Tabelle 5.1 oder Bild 5.2 zu bestimmen.

Nachweis der Beulsteife (Gesamtfeld) nach der Methode der effektiven Spannungen

Breite Beulfeld

$$b := 1.5 \text{ m}$$

Länge Beulfeld

$$a := 2.5 \text{ m}$$

Fläche aus Fagus

$$A_{sl} := 0.0211 \text{ m}^2 \quad e_1 := 0.01 \text{ m}$$

Trägheitsmoment aus Fagus

$$I_{st} := 0.000109 \text{ m}^4 \quad i_{sl} := \sqrt{\frac{I_{st}}{A_{sl}}} = 0.0719 \text{ m}$$

EModuli

$$E := 210 \text{ GPa}$$

Fließgrenze

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

Teilsicherheitsbeiwert

$$\gamma_{ml} := 1.05$$

Einwirkende Spannung

$$\sigma_{xd} := \frac{\frac{12162 \text{ kN m}}{840 \text{ mm} - 25 \cdot \frac{\text{mm}}{2} - 20 \cdot \frac{\text{mm}}{2}} \cdot \frac{1.5 \text{ m}}{3 \text{ m}}}{1500 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm}} = 247.9511 \text{ MPa}$$

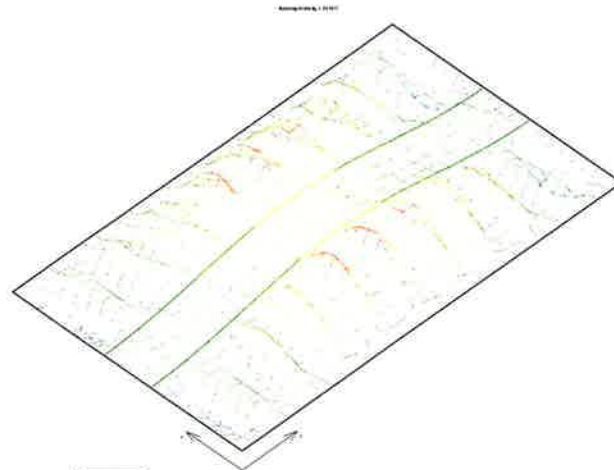
Kleinsten Faktor zur Vergrößerung der Bemessungslast

$$\alpha_{ult} := \sqrt{\left(\frac{f_y}{\sigma_{xd}}\right)^2} = 1.4317$$

kleinsten Faktor der elastischen Verzweigungslast (mit EB Beul ermittelt)

$$\alpha_{cr} := 23.452$$

wurde aus EB Beul Bucklingmode 57 (erste Hauptbeulform des betrachteten Gesamtfeldes).



Schlankheitsgrad aus kritischen Lasten

$$\lambda_p := \sqrt{\frac{\alpha_{ult}}{\alpha_{cr}}} = 0.2471$$

kritische elastische Beulspannung

$$\sigma_{cr,c} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{st}}{A_{sl}^2 \cdot a} = 545.2971 \text{ MPa}$$

Verhältnis der effektiven Fläche

$$\beta_{ac} := \frac{A_{sl}}{A_{sl}} = 0.6011$$

Schlankheitsgrad

$$\lambda_c := \sqrt{\frac{\beta_{ac} \cdot f_y}{\sigma_{cr,c}}} = 0.6256$$

Faktor für offene Querschnitte

$$\alpha := .34$$

Vergrößerungsbeiwert

$$\alpha_e := \alpha + \frac{0.09}{i_{sl}} = 0.3525$$

$$\phi_c := 0.5 \cdot \left(1 + \alpha_e \cdot (\lambda_c - 0.2) + \lambda_c^2 \right) = 0.7707$$

Abminderungsbeiwert

$$\rho_c := \frac{1}{\phi_c + \sqrt{\phi_c^2 - \lambda_c^2}} = 0.8191$$

Spannungsnachweis

$$\eta := \sqrt{\left(\frac{\sigma_{xd}}{\rho_c \cdot f_y}\right)^2} = 0.8953 < 1.00 \text{ Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der Beulsteife (Gesamtfeld) nach der Methode der effektiven Spannungen

Breite Beulfeld

$$b := 1.5 \text{ m}$$

Länge Beulfeld

$$a := 2.5 \text{ m}$$

Fläche aus Fagus

$$A_{sl} := 0.0143 \text{ m}^2 \quad e_1 := 0.01 \text{ m}$$

Trägheitsmoment aus Fagus

$$I_{St} := 0.000044 \text{ m}^4 \quad i_{sl} := \sqrt{\frac{I_{St}}{A_{sl}}} = 0.0555 \text{ m}$$

EModuli

$$E := 210 \text{ GPa}$$

Fließgrenze

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

Teilsicherheitsbeiwert

$$\gamma_{m1} := 1.05 \quad \frac{6464 \text{ kN m}}{700 \text{ mm} - 20 \cdot \frac{\text{mm}}{2} - 15 \cdot \frac{\text{mm}}{2}} \cdot \frac{1.5 \text{ m}}{3 \text{ m}}$$

Einwirkende Spannung

$$\sigma_{xd} := \frac{1500 \text{ mm} \cdot 15 \text{ mm}}{1500 \text{ mm} \cdot 15 \text{ mm}} = 210.4681 \text{ MPa}$$

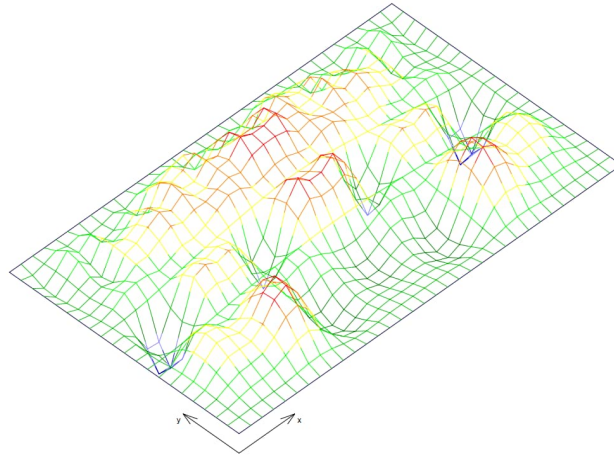
Kleinster Faktor zur Vergrößerung der Bemessungslast

$$\alpha_{ult} := \sqrt{\left(\frac{f_y}{\sigma_{xd}}\right)^2} = 1.6867$$

kleinster Faktor der elastischen Verzweigungslast (mit EB Beul ermittelt)

$$\alpha_{cr} := 29$$

wurde aus EB Beul Bucklingmode 56 (erste Hauptbeulform des betrachteten Gesamtfeldes).



Schlankheitsgrad aus kritischen Lasten

$$\lambda_p := \sqrt{\frac{\alpha_{ult}}{\alpha_{cr}}} = 0.2412$$

kritische elastische Beulspannung

$$\sigma_{cr.c} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{St}}{A_{sl} \cdot a^2} = 324.7923 \text{ MPa}$$

Verhältnis der effektiven Fläche

$$\beta_{ac} := \frac{0.0351 \text{ m}}{2} = 0.4074$$

Schlankheitsgrad

$$\lambda_c := \sqrt{\frac{\beta_{ac} \cdot f_y}{\sigma_{cr.c}}} = 0.6673$$

Faktor für offene Querschnitte

$$\alpha := .34$$

Vergrößerungsbeiwert

$$\alpha_e := \alpha + \frac{0.09}{i_{sl}} = 0.3562$$

$$\phi_c := 0.5 \cdot \left(\frac{e_1}{1 + \alpha_e \cdot (\lambda_c - 0.2)} + \lambda_c^2 \right) = 0.8059$$

Abminderungsbeiwert

$$\rho_c := \frac{1}{\phi_c + \sqrt{\phi_c^2 - \lambda_c^2}} = 0.7951$$

Spannungsnachweis

$$\eta := \sqrt{\frac{\sigma_{xd}}{\rho_c \cdot f_y}} = 0.7829 < 1.00 \text{ Nachweis erfüllt}$$

9 Stelfen und Detailausbildung

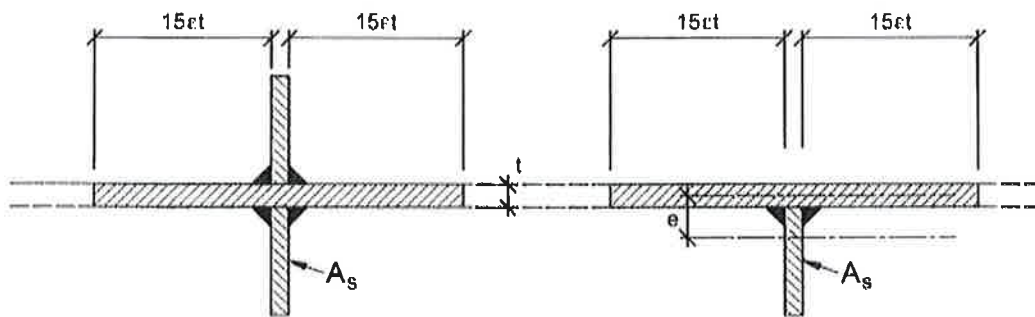
9.1 Allgemeines

(1) Die in diesem Abschnitt enthaltenen Regelungen zu Stelfen in Plattenbauteilen ergänzen die Plattenbeulregeln in den Abschnitten 4 bis 7.

ANMERKUNG Im nationalen Anhang können weitere Anforderungen an Stelfen und deren Detailausbildung für spezifische Anwendungsbereiche festgelegt werden.

(2) Beim Nachweis der Knicksicherheit von Stelfen darf der wirksame Querschnitt mit einer mitwirkenden Blechbreite von $15\epsilon t$ auf jeder Seite, jedoch maximal dem Stelfenabstand angenommen werden, siehe Bild 9.1.

(3) Die Normalkraft in Querstelfen ist in der Regel als Summe der Kräfte aus der Schubübertragung (siehe 9.3.3(3)) und den äußeren Lasten anzusetzen.



$$\epsilon(S355) = 0,814$$

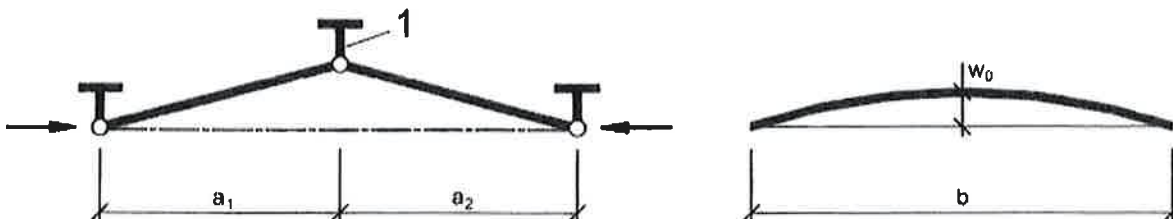
Bild 9.1 — Wirksamer Querschnitt von Stelfen

9.2 Wirkung von Längsspannungen

9.2.1 Minimale Anforderungen an Querstelfen

(1) Um die Bedingung für starre Lagerung eines Blechfeldes mit oder ohne Längsstelfen zu erfüllen, haben Querstelfen in der Regel den nachfolgenden Steifigkeits- und Festigkeitsanforderungen zu genügen.

(2) Die Querstelfe wird in der Regel als gelenkig gelagerter Einfeldträger unter Querbelastung mit einer sinusförmigen geometrischen Imperfektion $w_0 = s/300$ behandelt, wobei s der kleinste Wert von a_1 , a_2 oder b ist, siehe Bild 9.2. Dabei sind a_1 und a_2 die Breiten der Beulfelder rechts und links der Querstelfe und b ist die Spannweite der Querstelfe bzw. der Abstand zwischen den Schwerpunkten der das Beulfeld begrenzenden Flansche. Exzentrizitäten sind in der Regel zu berücksichtigen.



Legende

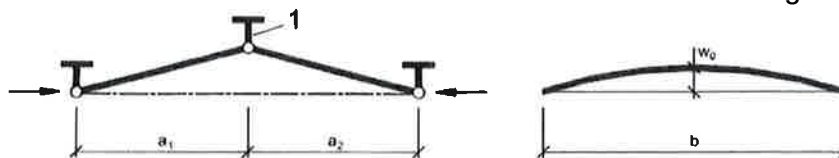
1 Querstelfe

Bild 9.2 — Querstelfe

Nachweis der Ersatzsteifigkeit der Trapezbeulsteife

Breite Beulfeld	$b := 1.5 \text{ m}$
Länge Beulfeld	$a := 2.5 \text{ m} \quad t := 20 \text{ mm}$
Einwirkende Normalkraft	$N_{Ed} := \frac{12162 \text{ kN m}}{840 \text{ mm} - 25 \cdot \frac{\text{mm}}{2} - 20 \cdot \frac{\text{mm}}{2}} \cdot \frac{1.5 \text{ m}}{3 \text{ m}} = 7438.5321 \text{ kN}$
EModuli	$E := 210 \text{ GPa}$
Fließgrenze	$f_y := 355 \text{ MPa} \quad \nu := 0.3$
Teilsicherheitsbeiwert	$\gamma_{m1} := 1.05$
Flächenträgheitsmoment des gesamten versteiften Blechs	$I_P := \frac{b \cdot t^3}{10.92} = 1.0989 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$
Spannungsverteilungsverhältnis	$\psi := 1$
Fläche aus Fagus	$A_{sl} := 0.0211 \text{ m}^2$
Trägheitsmoment aus Fagus	$I_{St} := 0.000109 \text{ m}^4$
Verhältnis der Abmessung	$\alpha := \frac{a}{b} = 1.6667$
Beulwert der orthotropen Platte gemäss EB Beul	$k_{\sigma,p} := 43.638 = 43.638$
	$\sigma_E := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot t^2}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot b^2} = 33.7422 \text{ MPa}$
kritische Plattenbeulspannung	$\sigma_{cr,p} := k_{\sigma,p} \cdot \sigma_E = 1472.4437 \text{ MPa}$
kritische elastische Beulspannung	$\sigma_{cr,c} := \frac{\pi \cdot E \cdot I_{St}}{A_{sl} \cdot a^2} = 545.2971 \text{ MPa}$
Feldbreiten	$a_1 := 0.75 \text{ m} \quad a_2 := 0.75 \text{ m}$
	$\sigma_m := \frac{\sigma_{cr,c}}{\sigma_{cr,p}} \cdot \frac{N_{Ed}}{b} \cdot \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \right) = 4.8973 \text{ MPa}$
maximale elastische Deformation	$w_0 := \frac{a_1}{300} = 2.5 \text{ mm}$
Abstand der Randfaser zum Schwerpunkt	$e_{max} := 23 \text{ cm} - 14 \text{ cm} = 0.09 \text{ m}$
	$u := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot e_{max}}{\frac{f_y}{\gamma_{m1}} \cdot 300 \cdot b} = 1.2261 > 1.00 \text{ daher in Ordnung}$
minimales Trägheitsmoment der Steife	$I_{st} := \frac{\sigma_m}{E} \cdot \left(\frac{b}{\pi} \right)^4 \cdot \left(1 + w_0 \cdot \frac{300}{b} \cdot u \right) = 195.5002 \text{ cm}^4$
	$I_{st,Steife} := 0.000030 \text{ m}^4 = 3000 \text{ cm}^4$
Erfüllungsgrad der Steife	$\eta_{QS} := \frac{I_{st}}{I_{st,Steife}} = 0.0652$

Steifigkeit der Trapezsteife ist wesentlich grösser. Daher in Ordnung



Legende
1 Quersteife

Bild 9.2 — Quersteife

Nachweis der Ersatzsteifigkeit der Trapezbeulsteife

Reduzierte Steife im Bereich Auflager

Breite Beulfeld	$b := 1.5 \text{ m}$
Länge Beulfeld	$a := 2.5 \text{ m} \quad t := 15 \text{ mm}$
Einwirkende Normalkraft	$N_{Ed} := \frac{6464 \text{ kN m}}{700 \text{ mm} - 20 \cdot \frac{\text{mm}}{2} - 15 \cdot \frac{\text{mm}}{2}} \cdot \frac{1.5 \text{ m}}{3 \text{ m}} = 4735.5311 \text{ kN}$
EModuli	$E := 210 \text{ GPa}$
Flie遝sgrenze	$f_y := 355 \text{ MPa} \quad \nu := 0.3$
Teilsicherheitsbeiwert	$\gamma_{m1} := 1.05$
Flächenträgheitsmoment des gesamten versteiften Blechs	$I_p := \frac{b \cdot t^3}{10.92} = 4.636 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$
Spannungsverteilungsverhältnis	$\psi := 1$
Fläche aus Fagus	$A_{sl} := 0.0143 \text{ m}^2$
Trägheitsmoment aus Fagus	$I_{St} := 0.000044 \text{ m}^4$
Verhältnis der Abmessung	$\alpha := \frac{a}{b} = 1.6667$
Beulwert der orthotropen Platte gemäss EB Beul	$k_{\sigma,p} := 43.638 = 43.638$
	$\sigma_E := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot t^2}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot b^2} = 18.98 \text{ MPa}$
kritische Plattenbeulspannung	$\sigma_{cr,p} := k_{\sigma,p} \cdot \sigma_E = 828.2496 \text{ MPa}$
kritische elastische Beulspannung	$\sigma_{cr,c} := \frac{\pi \cdot E \cdot I_{St}}{A_{sl} \cdot a^2} = 324.7923 \text{ MPa}$
Feldbreiten	$a_1 := 0.75 \text{ m} \quad a_2 := 0.75 \text{ m}$
	$\sigma_m := \frac{\sigma_{cr,c}}{\sigma_{cr,p}} \cdot \frac{N_{Ed}}{b} \cdot \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \right) = 3.3013 \text{ MPa}$
maximale elastische Deformation	$w_\theta := \frac{a_1}{300} = 2.5 \text{ mm}$
Abstand der Randfaser zum Schwerpunkt	$e_{max} := 23 \text{ cm} - 14 \text{ cm} = 0.09 \text{ m}$
	$u := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot e_{max}}{\frac{f_y}{\gamma_{m1}} \cdot 300 \cdot b} = 1.2261 > 1.00 \text{ daher in Ordnung}$
minimales Trägheitsmoment der Steife	$I_{st} := \frac{\sigma_m}{E} \cdot \left(\frac{b}{\pi} \right)^4 \cdot \left(1 + w_\theta \cdot \frac{300}{b} \cdot u \right) = 131.7889 \text{ cm}^4$
	$I_{st,Steife} := 0.000012 \text{ m}^4 = 1200 \text{ cm}^4$
Erfüllungsgrad der Steife	$\eta_{QS} := \frac{I_{st}}{I_{st,Steife}} = 0.1098$

Steifigkeit der Trapezsteife ist wesentlich grösser. Daher in Ordnung

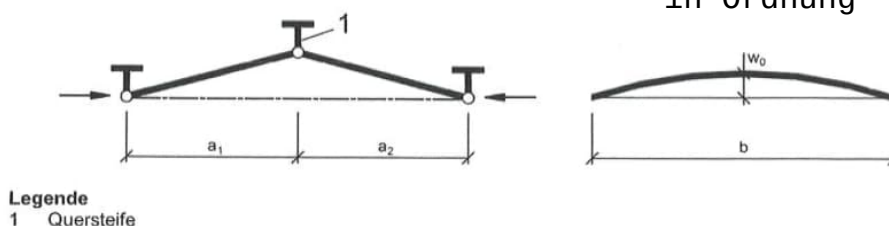


Bild 9.2 — Quersteife

4.3. Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

4.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Verformungen

• Lastfall quasi-ständig: $\rightarrow$ nur ständige Lasten $L = 47,7 \text{ m}$

$$\begin{aligned} w_{\max} &= 345 \text{ mm} \\ L/700 &= 68 \text{ mm} \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} w_{\max} &= 345 \text{ mm} \\ L/700 &= 68 \text{ mm} \end{aligned}} \right\} 345 \text{ mm} > 68 \text{ mm} \text{ nicht i.O.}$$

Überbau um 350 mm erhöhen

• Lastfall häufig: $\rightarrow$ nur LM1 mit $\eta = 0,4$

$$w_{\max} = 0,4 \times 208,7 \text{ mm} = 83,5 \text{ mm} \rightarrow L/571$$

$$L/600 = 79,5 \text{ mm}$$

$\Rightarrow$ Nachweis sehr knapp nicht erfüllt (4 mm). Es wird jedoch akzeptiert

Schwingungen

EW1: $\rightarrow$ quasi-ständiges Lastbild LM $\eta = \emptyset$!

① vertikale Anregung $f_1 = 0,99 \text{ Hz} \leq 1,6 \text{ Hz}$
 $\rightarrow$ erfüllt

② horizontale Anregung $f_2 = 2,59 \text{ Hz} > 1,3 \text{ Hz}$ (quer)
 $\rightarrow$ erfüllt

③ horizontale Anregung $f_8 = 21,86 \text{ Hz} > 2,5 \text{ Hz}$ (längs)
 $\rightarrow$ erfüllt

EW2: $\hookrightarrow$ häufiger Lastbild $\lambda = 0,4$

① vertikale Anregung $f_1 = 0,88 \text{ Hz} \leq 1,6 \text{ Hz}$

$\hookrightarrow$ erfüllt

② horizontale Anregung $f_2 = 2,30 \text{ Hz} \approx 1,3 \text{ Hz}$ (quer)

$\hookrightarrow$ erfüllt

③ horizontale Anregung $f_3 = 13,31 \text{ Hz} \approx 2,5 \text{ Hz}$ (längs)

$\hookrightarrow$ erfüllt

Distorsion Schwingform horizontale Anregung

$f_1 = 0,88 \text{ Hz}$  $n=1$ $m_{es} = 90,2\%$ $< 1,6 \text{ Hz}$

$f_3 = 3,30 \text{ Hz}$  $n=1$ $m_{es} = \phi$ $< 4,5 \text{ Hz}$

$f_4 = 7,85 \text{ Hz}$  $n=2$ $m_{es} = 4,39\%$ $> 4,5 \text{ Hz}$

Die zweite Eigenform weist eine kritische Frequenz auf. Da sich diese jedoch an der oberen Grenze gemäß "Vibration Problems in structures" von H. Bachmann befindet ($\approx 3,5 \text{ Hz}$) und eine untergeordnete Schwingform ist, wird diese Schwingung als unkritisch angesehen.

"walking"	walking with continuous ground contact	1.6 to 2.4	- slow walking (ambling) normal walking - fast, brisk walking	~ 1.7 ~ 2.0 ~ 2.3	- pedestrian structures (pedestrian bridges, stairs, piers, etc.) - office buildings, etc.
"running"	running with discontinuous ground contact	2.0 to 3.5	- slow running (jog) normal running - fast running (sprint)	~ 2.1 ~ 2.5 > 3.0	pedestrian bridges on jogging tracks, etc.
"jumping"	normal to high rhythmical jumping on the spot with simultaneous ground contact of both feet	1.8 to 3.4	- fitness training with jumping, skipping and running to rhythmical music - jazz dance training	~ 1.5 to 3.4 ~ 1.8 to 3.5	- gymnasia, sport halls - gymnastic training rooms
"dancing"	approximately equivalent to "brisk walking"	1.5 to 3.0	social events with classical and modern dancing (e.g. English Waltz, Rumba etc.)	~ 1.5 to 3.0	- dance halls - concert halls and other community halls without fixed seating
"hand clapping with body bouncing while standing"	rhythmical hand clapping in front of one's chest or above the head while bouncing vertically by forward and backward knee movement of about 50 mm	1.5 to 3.0	pop concerts with enthusiastic audience	~ 1.5 to 3.0	concert halls and spectator galleries with and without fixed seating and "hard" pop concerts
"hand clapping"	rhythmical hand clapping in front of one's chest	1.5 to 3.0	classical concerts, "soft" pop concerts	~ 1.5 to 3.0	concert halls with fixed seating (no "hard" pop concerts)
"lateral body swaying"	rhythmical lateral body swaying while being seated or standing	0.4 to 0.7	concerts, social events		spectator galleries

Table G.1: Representative types of activities and their applicability to different actual activities and types of structures

Representative type of activity	Activity rate [Hz]		Fourier coefficient and phase lag					Design density [persons/m ²]
			α_1	α_2	ϕ_2	α_3	ϕ_3	
"walking"	vertical	2.0	0.4	0.1	$\pi/2$	0.1	$\pi/2$	~ 1
		2.4	0.5					
	forward	2.0	0.2	0.1				
		2.0	$\alpha_{1/2} = 0.1$ $\alpha_{1/2} = 0.1$	$\alpha_{3/2} = 0.1$				
"lateral"		2.0						
"running"		2.0 to 3.0	1.6	0.7		0.2		-
"jumping"	normal	2.0	1.8	1.3	*)	0.7	*)	in fitness training ~ 0.25 (in extreme cases up to 0.5)
		3.0	1.7	1.1	*)	0.5	*)	
	high	2.0	1.9	1.6	*)	1.1	*)	
		3.0	1.8	1.3	*)	0.8	*)	
"dancing"		2.0 to 3.0	0.5	0.15		0.1		~ 4 (in extreme cases up to 6)
"hand clapping with body bouncing while standing"		1.6	0.17	0.10		0.04		no fixed seating ~ 4 (in extreme cases up to ~ 6) with fixed seating ~ 2 to 3
		2.4	0.38	0.12		0.02		
"hand clapping"	normal	1.6	0.024	0.010		0.009		~ 2 to 3
		2.4	0.047	0.024		0.015		
	intensive	2.0	0.170	0.047		0.037		
"lateral body swaying"	seated	0.6	$\alpha_{1/2} = 0.4$	-		-		~ 3 to 4
	standing	0.6	$\alpha_{1/2} = 0.5$	-		-		

Table G.2: Normalized dynamic forces assigned to the representative types of activity defined in Table G.1

Grenzwertspezifikation: quasi-ständig

Beschreibung

Standard-Bemessungssituation: Gebrauchstauglichkeit quasi-ständige Kombination

Einwirkungskombinationen

Nr	Einwirkung Name	Fak	1	Einwirkungskombinationen
1	Eigenlast	1	1	
2	Auflasten	1	1	
3	Lastmodell 1	1		
4	Wind	1		
5	Temperatureinwirkung	1	0.5	

Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

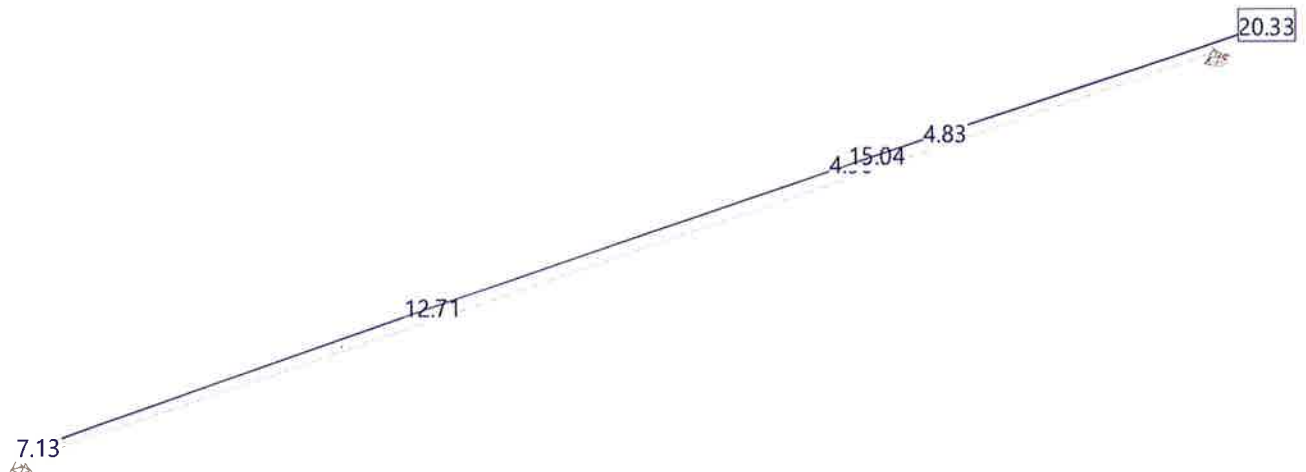
Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen

zu Grenzwertspezifikation quasi-ständig

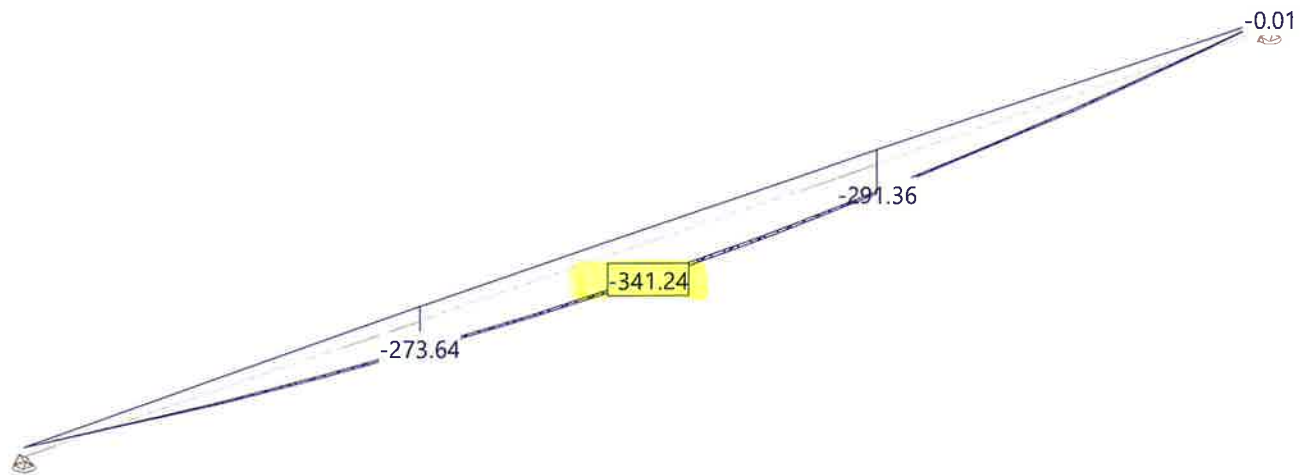
Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		B0 Eigengewicht	1.000	
Auflasten		ständig		B1 Belag	1.000	
		ständig		B2 Geländer	1.000	
		ständig		B3 Werkleitungen	1.000	
Lastmodell 1		ständig	entwede	V1 Verkehr Fussgänger	1.000	
			oder	UFZ%1 Belastung Stellung: P1	1.000	
			oder	UFZ%1-1 Belastung Stellung: P1-1	1.000	
			oder	UFZ%1-2 Belastung Stellung: P1-2	1.000	
			oder	UFZ%1-3 Belastung Stellung: P1-3	1.000	
			oder	UFZ%1-4 Belastung Stellung: P1-4	1.000	
			oder	UFZ%1-5 Belastung Stellung: P1-5	1.000	
			oder	UFZ%1-6 Belastung Stellung: P1-6	1.000	
			oder	UFZ%1-7 Belastung Stellung: P1-7	1.000	
			oder	UFZ%1-8 Belastung Stellung: P1-8	1.000	
			oder	UFZ%1-9 Belastung Stellung: P1-9	1.000	
			oder	UFZ%1-10 Belastung Stellung: P1-10	1.000	
			oder	V2 Verkehr Fussgänger EXZENTRISCH	1.000	
Wind		wo massgebend		W Wind	1.000	
Temperatureinwirkung		wo massgebend		T1 Temperatur konst+	1.000	
		plus, wo massg.		T2 Temperatur konst-	1.000	
		plus, wo massg.		T3 Temperatur veränderlich oben war	1.000	

Alt : Alternative Überlagerung

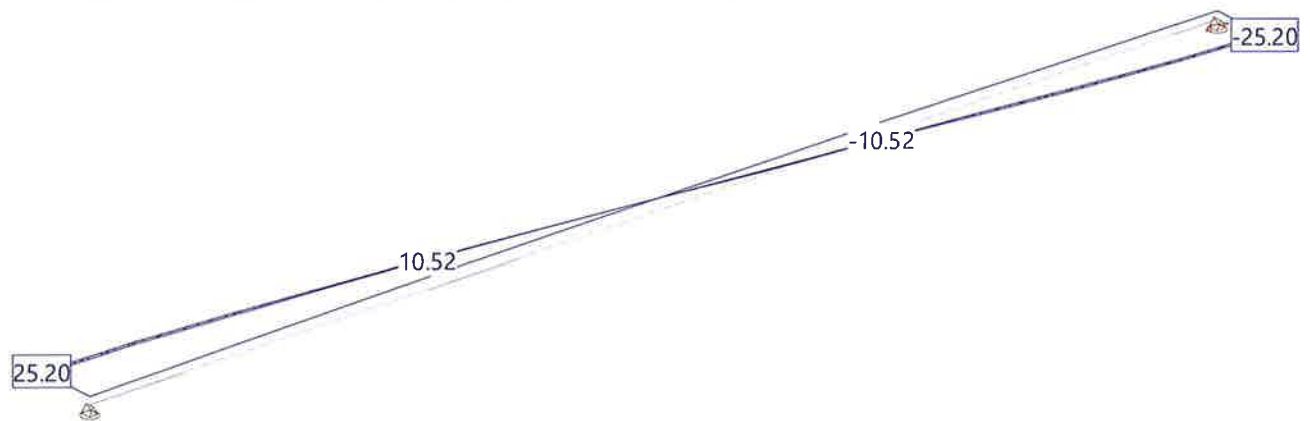
Verschiebungsgrenzwerte DX (Schwerachsen) [mm] für: quasi-ständig, Überhöhung: 100.0



Verschiebungsgrenzwerte DZ (Schwerachsen) [mm] für: quasi-ständig, Überhöhung: 5.0



Rotationsgrenzwerte RY (Schwerachsen) [mrad] für: quasi-ständig, Überhöhung: 100.0



Grenzwertspezifikation: häufig

Beschreibung

Standard-Bemessungssituation: Gebrauchstauglichkeit häufige Kombination

Einwirkungskombinationen

Nr	Einwirkung Name	Fak	1	2	3	Einwirkungskombinationen
1	Eigenlast	1	1	1	1	
2	Auflasten	1	1	1	1	
3	Lastmodell 1	1	0.4			
4	Wind	1		0.2		
5	Temperatureinwirkung	1	0.5	0.5	0.6	

Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

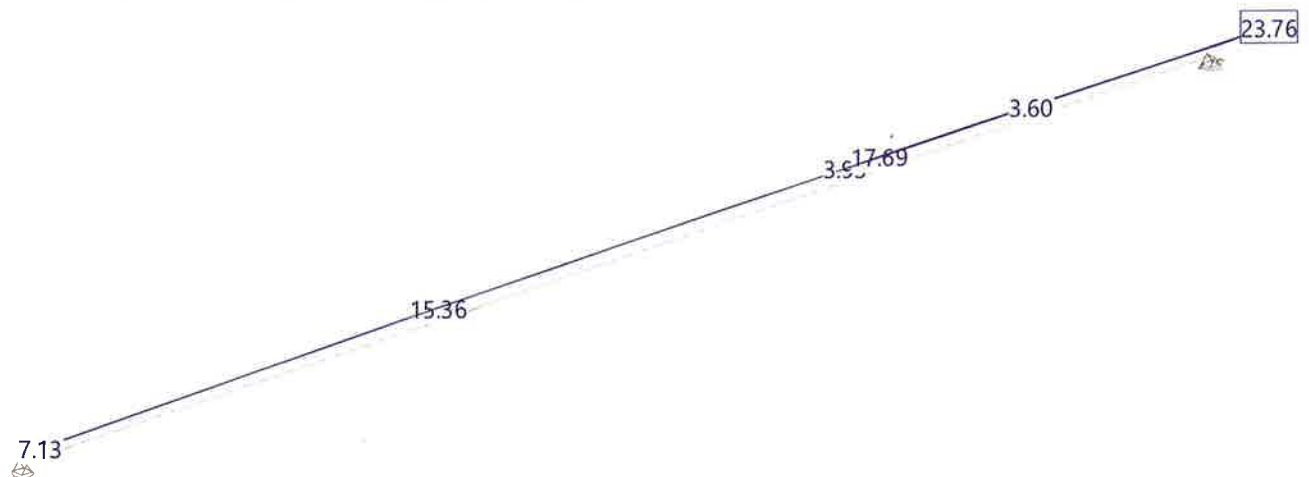
Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen

zu Grenzwertspezifikation häufig

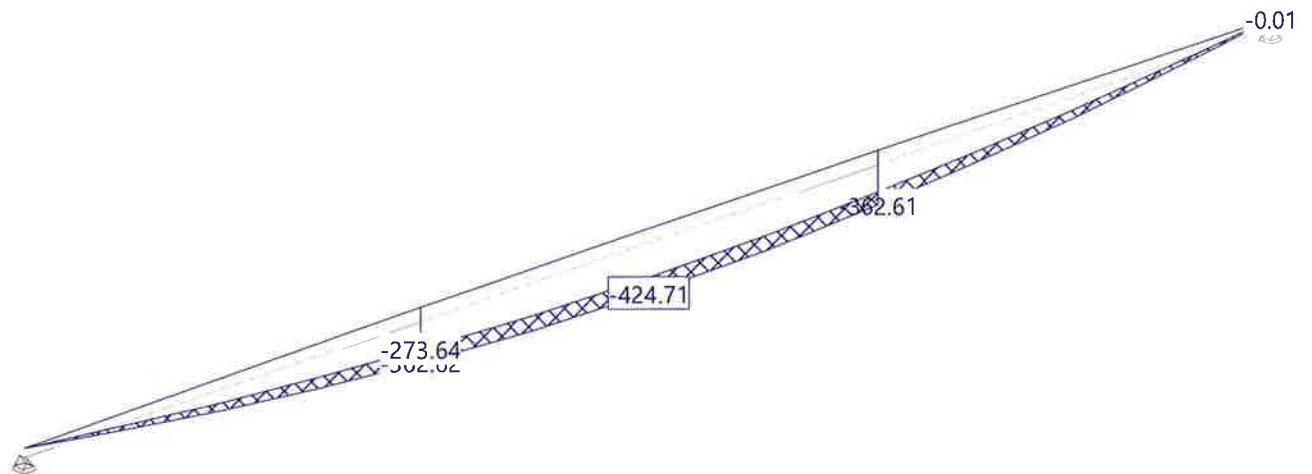
Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		B0 Eigengewicht	1.000	
Auflasten		ständig		B1 Belag	1.000	
		ständig		B2 Geländer	1.000	
		ständig		B3 Werkleitungen	1.000	
Lastmodell 1		ständig	entwede	V1 Verkehr Fussgänger	1.000	
			oder	V2 Verkehr Fussgänger EXZENTRISCH	1.000	
			oder	UFZ%1 Belastung Stellung: P1	1.000	
			oder	UFZ%1-1 Belastung Stellung: P1-1	1.000	
			oder	UFZ%1-2 Belastung Stellung: P1-2	1.000	
			oder	UFZ%1-3 Belastung Stellung: P1-3	1.000	
			oder	UFZ%1-4 Belastung Stellung: P1-4	1.000	
			oder	UFZ%1-5 Belastung Stellung: P1-5	1.000	
			oder	UFZ%1-6 Belastung Stellung: P1-6	1.000	
			oder	UFZ%1-7 Belastung Stellung: P1-7	1.000	
			oder	UFZ%1-8 Belastung Stellung: P1-8	1.000	
			oder	UFZ%1-9 Belastung Stellung: P1-9	1.000	
			oder	UFZ%1-10 Belastung Stellung: P1-10	1.000	
Wind		wo massgebend		W Wind	1.000	
Temperatureinwirkung		wo massgebend		T1 Temperatur konst+	1.000	
		plus, wo massg.		T2 Temperatur konst-	1.000	
		plus, wo massg.		T3 Temperatur veränderlich oben war	1.000	

Alt : Alternative Überlagerung

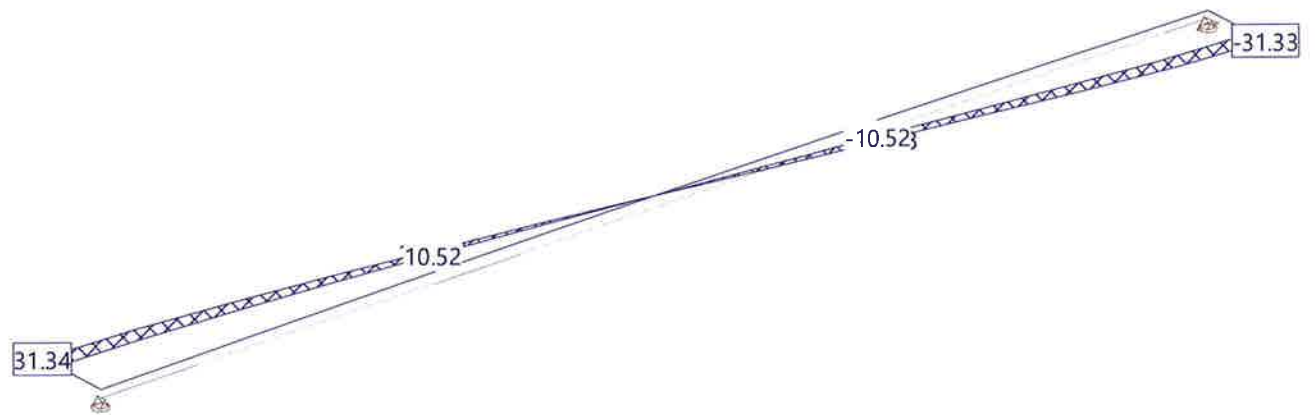
Verschiebungsgrenzwerte DX (Schwerachsen) [mm] für: häufig, Überhöhung: 100.0



Verschiebungsgrenzwerte DZ (Schwerachsen) [mm] für: häufig, Überhöhung: 5.0



Rotationsgrenzwerte RY (Schwerachsen) [mrad] für: häufig, Überhöhung: 100.0



Resultatkombination

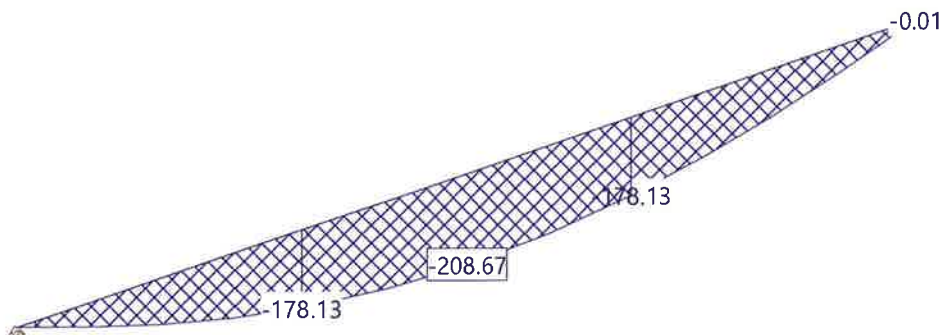
Resultatkombination ständig

ID Belastung	Faktor	Beschreibung
B0	1.000	Eigengewicht
B1	1.000	Belag
B2	1.000	Geländer
B3	1.000	Werkleitungen

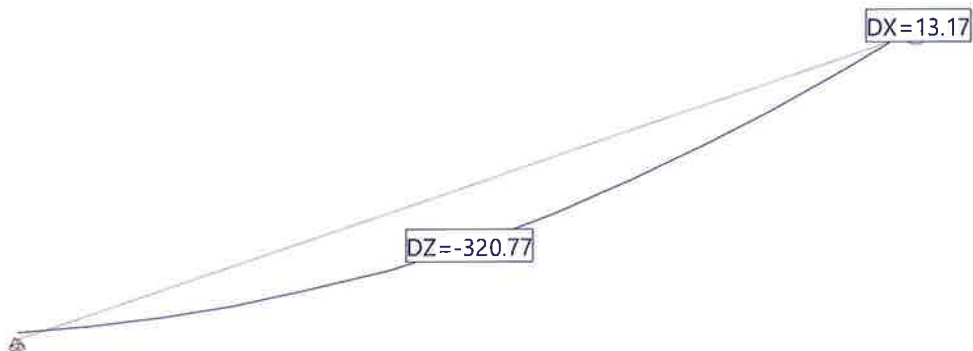
Resultatkombination häufigNURverkehr

ID Belastung	Faktor	Beschreibung
V1	0.400	Verkehr Fussgänger

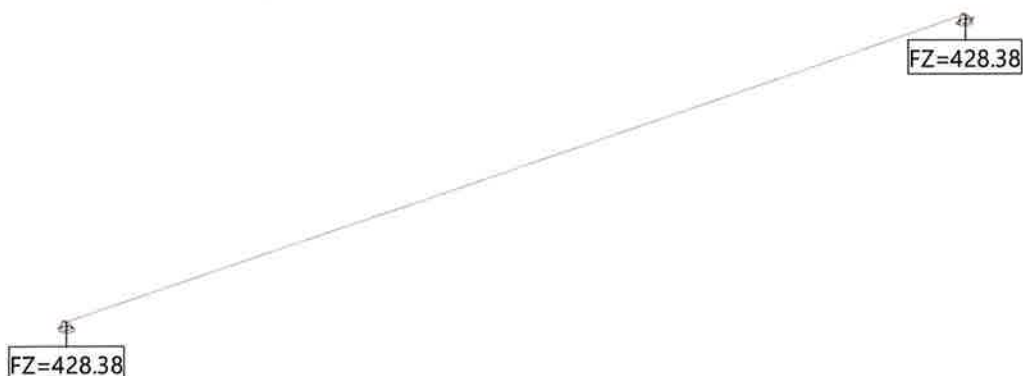
VERSCHIEBUNGEN D Z (Stabachsen) für: V1 [mm], Überhöhung: 20.0



VERSCHIEBUNGEN D (Schwerachsen) für: ständig [mm], Überhöhung: 10.0



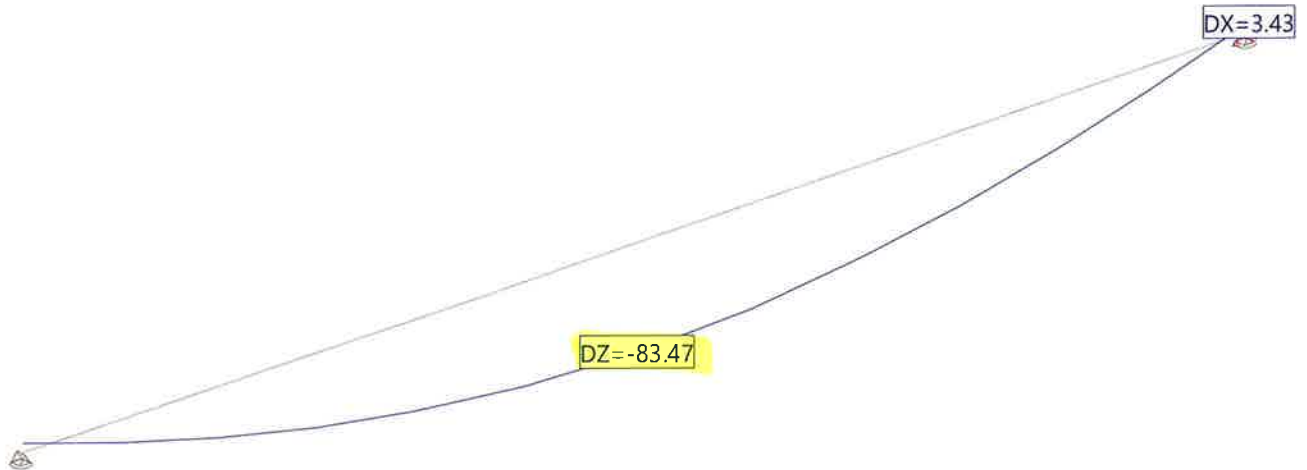
Reaktionen für ständig, Summe FX: 0.00, Summe FZ: 856.76
In Knoten [kN]/[kNm], Summe FX: 0.00, Summe FZ: 856.76



Resultatkombination**Resultatkombination häufigNURverkehr**

ID Belastung	Faktor	Beschreibung
V1	0.400	Verkehr Fussgänger

VERSCHIEBUNGEN D (Schwerachsen) für: häufigNURverkehr [mm], Überhöhung: 50.0

**Eigenwert-Analyse 'EW1'****EIGENFREQUENZEN**

Massenbelastung 'M8' (Analyse 'EW1')

EW-Nr.	ω^2 [(rad/s) ²]	ω [rad/s]	Periode [s]	Frequenz [s ⁻¹]
1	39.06	6.250	1.00532	0.99
2	264.18	16.254	0.38657	2.59
3	570.29	23.881	0.26311	3.80
4	3114.79	55.810	0.11258	8.88
5	4171.74	64.589	0.09728	10.28
6	9002.19	94.880	0.06622	15.10
7	10305.30	101.515	0.06189	16.16
8	18859.80	137.331	0.04575	21.86
9	25710.92	160.346	0.03919	25.52
10	37263.53	193.038	0.03255	30.72

MODALE PARTIZIPATIONSFAKTOREN (massennormiert)

Massenbelastung 'M8' (Analyse 'EW1')

EW-Nr.	X	Y	Z
1	-0.39592202	-0.00000000	8.41064749
2	0.00000000	-8.37969914	-0.00000000
3	-0.81291165	-0.00000000	-0.02618428
4	-1.45079548	-0.00000000	2.70737708
5	-0.00000000	0.00000000	0.00000000
6	-3.09967918	0.00000000	-0.25467912
7	-0.00000000	0.21165869	-0.00000000
8	-6.58229108	0.00000007	0.10035128
9	-0.00000853	2.72131587	-0.00000043
10	3.86938401	0.00012568	1.83916338
*) $\sum p_i^2$	70.82908666	77.66971720	81.52702122

*) $\sum p_i^2$ Summe der Quadrate der Partizipationsfaktoren
(entspricht der angeregten Masse in der entspr. Richtung)

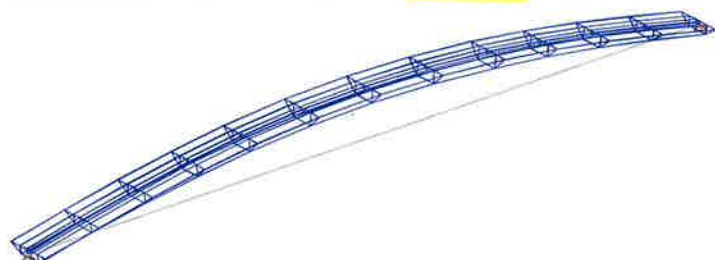
EFFEKTIVE MODALE MASSEN (sortiert nach Grösse pro Richtung)

Massenbelastung 'M8' (Analyse 'EW1')

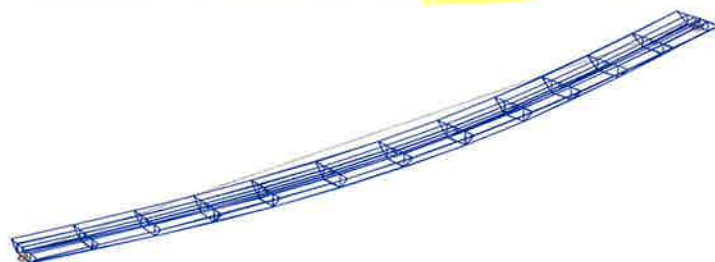
EW-Pos.	EW-Nr.	X-Richtung m_{ex} [t]	Σm_{ex} [%]	EW-Nr.	Y-Richtung m_{ey} [t]	Σm_{ey} [%]	EW-Nr.	Z-Richtung m_{ez} [t]	Σm_{ez} [%]
1	8	43.33	50.8%	2	70.22	82.4%	1	70.74	83.0%
2	10	14.97	68.4%	9	7.41	91.1%	4	7.33	91.6%
3	6	9.61	79.7%	7	0.04	91.1%	10	3.38	95.6%
4	4	2.10	82.1%	10	0.00	91.1%	6	0.06	95.6%
5	3	0.66	82.9%	8	0.00	91.1%	8	0.01	95.6%
6	1	0.16	83.1%	6	0.00	91.1%	3	0.00	95.6%
7	9	0.00	83.1%	4	0.00	91.1%	9	0.00	95.6%
8	7	0.00	83.1%	5	0.00	91.1%	7	0.00	95.6%
9	5	0.00	83.1%	3	0.00	91.1%	5	0.00	95.6%
10	2	0.00	83.1%	1	0.00	91.1%	2	0.00	95.6%

(1) : Gesamtmasse = 85.24 [t]

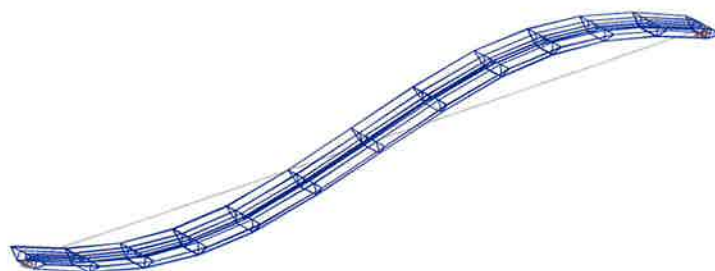
Schwingungsform für: EW1_1 , Eigenfrequenz: 0.99 [s-1] , eff. modale Massen: $m_{ex}/m=0.2\%$, $m_{ey}/m=0.0\%$, $m_{ez}/m=83.0\%$



Schwingungsform für: EW1_2 , Eigenfrequenz: 2.59 [s-1] , eff. modale Massen: $m_{ex}/m=0.0\%$, $m_{ey}/m=82.4\%$, $m_{ez}/m=0.0\%$

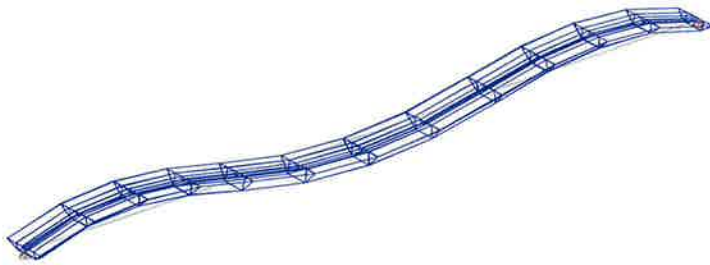


Schwingungsform für: EW1_3 , Eigenfrequenz: 3.80 [s-1] , eff. modale Massen: $m_{ex}/m=0.8\%$, $m_{ey}/m=0.0\%$, $m_{ez}/m=0.0\%$

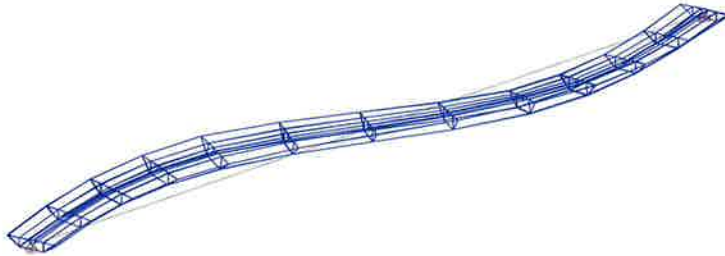


Nr.:

Schwingungsform für: EW1_4 , Eigenfrequenz: 8.88 [s-1] , eff. modale Massen: $m_{ex}/m=2.5\%$, $m_{ey}/m=0.0\%$, $m_{ez}/m=8.6\%$



Schwingungsform für: EW1_5 , Eigenfrequenz: 10.28 [s-1] , eff. modale Massen: $m_{ex}/m=0.0\%$, $m_{ey}/m=0.0\%$, $m_{ez}/m=0.0\%$



Eigenwert-Analyse 'EW2'**EIGENFREQUENZEN**

Massenbelastung 'M9' (Analyse 'EW2')

EW-Nr.	ω^2 [(rad/s) ²]	ω [rad/s]	Periode [s]	Frequenz [s ⁻¹]
1	30.78	5.548	1.13251	0.88
2	208.30	14.432	0.43535	2.30
3	446.76	21.137	0.29726	3.36
4	2431.25	49.308	0.12743	7.85
5	3277.06	57.246	0.10976	9.11
6	7038.73	83.897	0.07489	13.35
7	10296.91	101.474	0.06192	16.15
8	14724.81	121.346	0.05178	19.31
9	20173.82	142.035	0.04424	22.61
10	29048.17	170.435	0.03687	27.13

MODALE PARTIZIPATIONSFAKTOREN (massennormiert)

Massenbelastung 'M9' (Analyse 'EW2')

EW-Nr.	X	Y	Z
1	0.44971389	0.00000000	-9.49692318
2	0.00000000	9.46348091	-0.00000000
3	-0.91614579	-0.00000000	-0.02953156
4	-1.63879378	0.00000000	3.08484702
5	0.00000000	0.00000000	0.00000000
6	3.46839129	-0.00000000	0.28655088
7	-0.00000001	-0.25986776	-0.00000000
8	-7.44448974	-0.00000055	0.11480608
9	-0.00000380	3.10422317	-0.00000051
10	4.37893789	-0.00000893	2.09547240
*) Σp_i^2	90.35247352	99.26120365	104.19499957

*) : Summe der Quadrate der Partizipationsfaktoren
(entspricht der angeregten Masse in der entspr. Richtung)

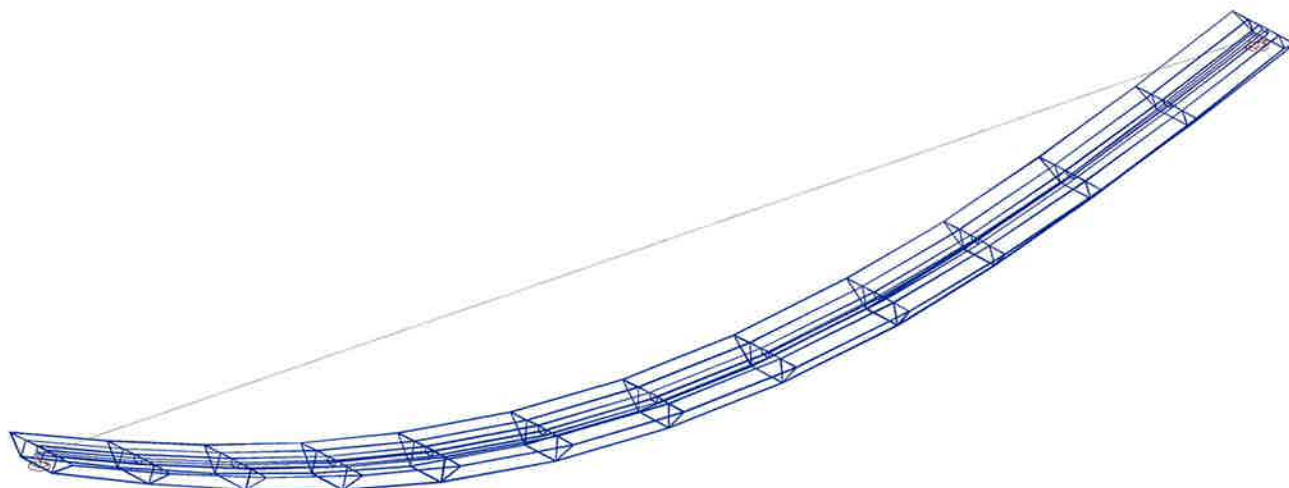
EFFEKTIVE MODALE MASSEN (sortiert nach Grösse pro Richtung)

Massenbelastung 'M9' (Analyse 'EW2')

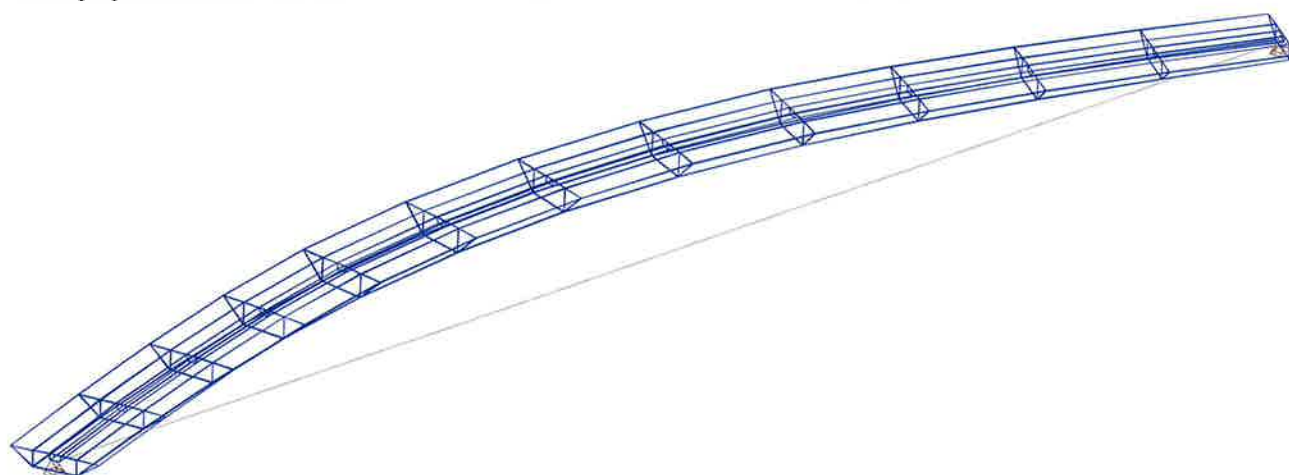
EW-Pos.	EW-Nr.	X-Richtung m_{ex} [t]	Σm_{ex} [%]	EW-Nr.	Y-Richtung m_{ey} [t]	Σm_{ey} [%]	EW-Nr.	Z-Richtung m_{ez} [t]	Σm_{ez} [%]
1	8	55.42	50.8%	2	89.56	82.1%	1	90.19	82.7%
2	10	19.18	68.4%	9	9.64	91.0%	4	9.52	91.4%
3	6	12.03	79.4%	7	0.07	91.0%	10	4.39	95.5%
4	4	2.69	81.9%	10	0.00	91.0%	6	0.08	95.5%
5	3	0.84	82.7%	8	0.00	91.0%	8	0.01	95.6%
6	1	0.20	82.9%	6	0.00	91.0%	3	0.00	95.6%
7	9	0.00	82.9%	3	0.00	91.0%	9	0.00	95.6%
8	7	0.00	82.9%	5	0.00	91.0%	7	0.00	95.6%
9	5	0.00	82.9%	4	0.00	91.0%	5	0.00	95.6%
10	2	0.00	82.9%	1	0.00	91.0%	2	0.00	95.6%

(1) : Gesamtmasse = 109.05 [t]

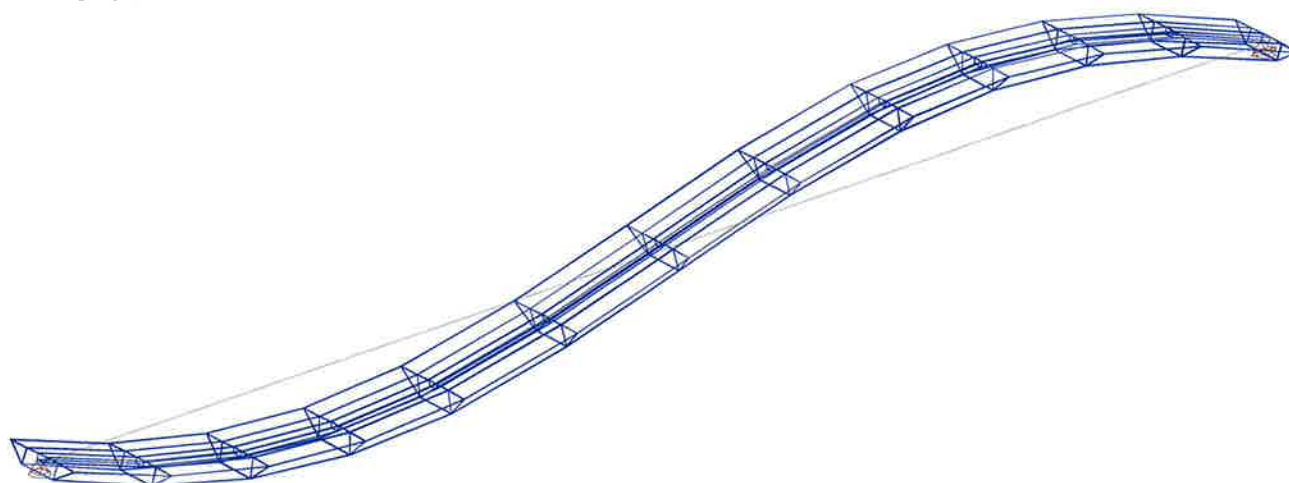
Schwingungsform für: EW2_1 , Eigenfrequenz: 0.88 [s-1] , eff. modale Massen: $m_{ex}/m=0.2\%$, $m_{ey}/m=0.0\%$, $m_{ez}/m=82.7\%$



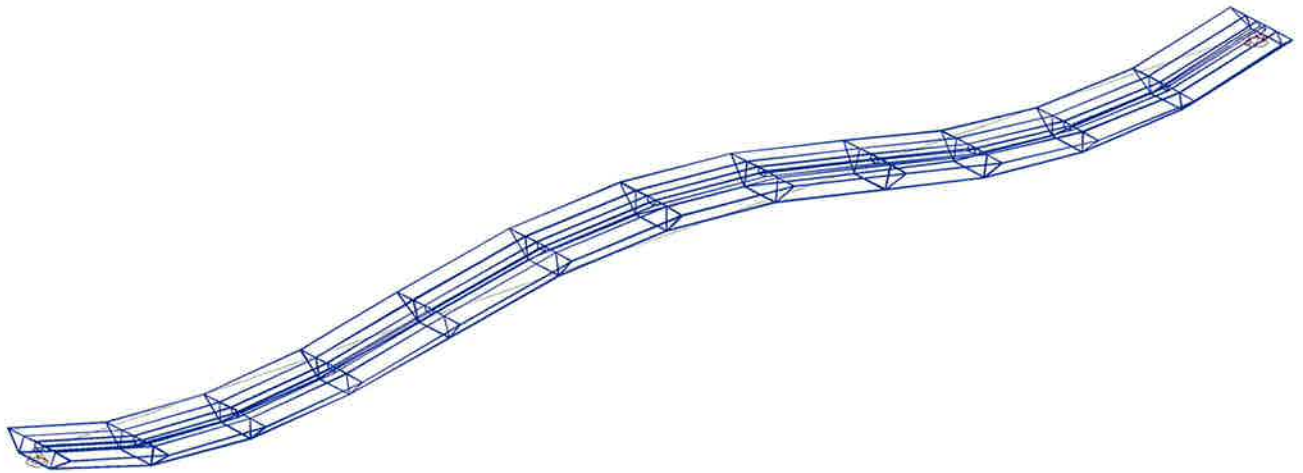
Schwingungsform für: EW2_2 , Eigenfrequenz: 2.30 [s-1] , eff. modale Massen: $m_{ex}/m=0.0\%$, $m_{ey}/m=82.1\%$, $m_{ez}/m=0.0\%$



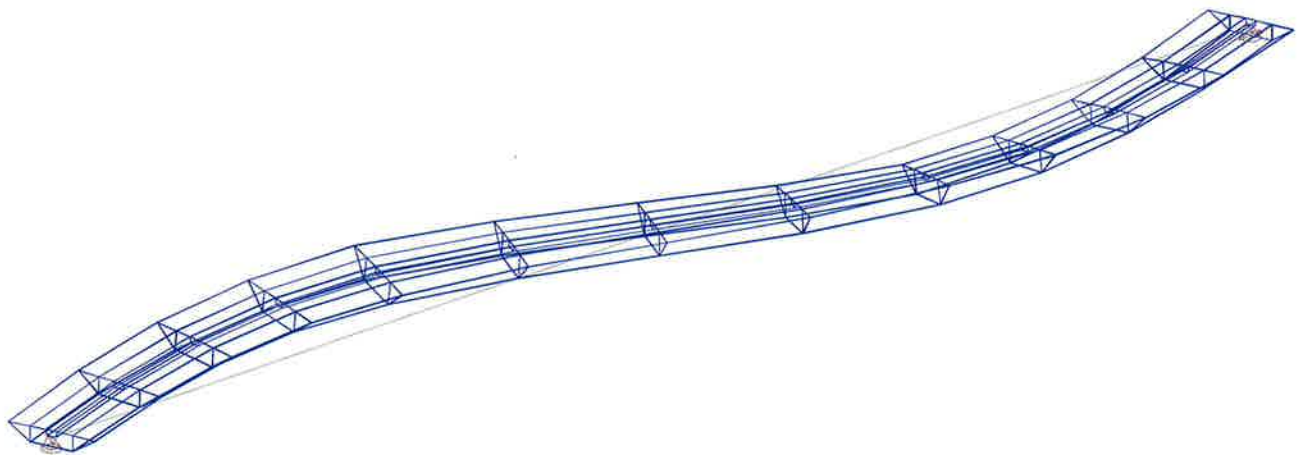
Schwingungsform für: EW2_3 , Eigenfrequenz: 3.36 [s-1] , eff. modale Massen: $m_{ex}/m=0.8\%$, $m_{ey}/m=0.0\%$, $m_{ez}/m=0.0\%$



Schwingungsform für: EW2_4 , Eigenfrequenz: 7.85 [s-1] , eff. modale Massen: $m_{ex}/m=2.5\%$, $m_{ey}/m=0.0\%$, $m_{ez}/m=8.7\%$



Schwingungsform für: EW2_5 , Eigenfrequenz: 9.11 [s-1] , eff. modale Massen: $m_{ex}/m=0.0\%$, $m_{ey}/m=0.0\%$, $m_{ez}/m=0.0\%$



4.4 Erdbeben

Der Nachweis wird mit dem Ersatzkraftverfahren nach SIA 261 geführt

- Einwirkung: Eigendlast Stahl
Auflaster
Ersatzkraft aus Erdbeben infolge ständiger Lasten

$$\text{Ersatzkräfte: } F_d = S_d(T_1) \sum_j (G_k + \frac{1}{2} Q_k)_j = 0,173 \times 857 \text{ kN} = 148,3 \text{ kN}$$

$$\text{mit } S_d = 2,5 \times \frac{a_{\text{ges}}}{g} \times \frac{S}{q} = 2,5 \times 1,0 \times \frac{0,8}{2,01} \times \frac{1,7}{2,0} = 0,173 \text{ (Plateauwert)}$$

Schwimmende Lagerung beim WL

$$b_2 \geq b_{\min} + a_n + \frac{2l}{l_g} u_{gd} + d_a + \frac{1}{2} d_T \leq b_{\min} + a_n + 2u_{gd} + d_s + \frac{1}{2} d_T$$

$$l = 47,86 \text{ m} \quad d_g = \emptyset$$

$$l_g = 300 \text{ m} \rightarrow u_{gd} = 0,05 \times \gamma_F \times a_{gd} \times S \times T_c \times T_D = 0,05 \times 1,0 \times 0,8 \times 0,5 \times 2 = 0,04 \text{ m}$$

$$d_T = 0,03\% \times 47,86 \text{ m} = 14,36 \text{ mm} \text{ (Verformung Temperatur)} \quad \frac{l}{2} = 0,5$$

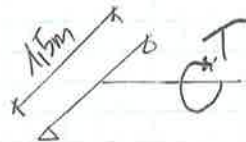
$$430 \text{ mm} \geq 300 + 120 + \frac{2 \times 47,86}{300} 40 + \emptyset + 0,5 \times 14,4 = 427,5 \text{ mm}$$

$$427,5 \text{ mm} \leq 300 + 120 + 2 \times 40 + 0,5 \times 14,36 = 507,2 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow 430 \text{ mm} \geq 427,5 \text{ mm} \leq 507,2 \text{ mm} \rightarrow \underline{\text{erfüllt}}$$

4.5 Lager

- allseitig verschiebbare Lager: $F_{g,max} = 1001 \text{ kN} / 2 = 501 \text{ kN}$
 $F_{g,min} = 171 - 107 = 64 \text{ kN}$



$$G_k^{qs} = 214,2 \text{ kN} \times 0,8 = 171,36 \text{ kN}$$

$$T = 161 \text{ kN} / 1,5 \text{ m} = 107,3 \text{ kN}$$

$171 \text{ kN} > 107 \text{ kN}$
kein Abheben!

- quer gehalten: $F_y = 88 \text{ kN}$ (Wind)
 $F_y = 0,2 \times 148 \text{ kN} = 29,6 \text{ kN}$ (Erdbeben)

- Verschiebung: längs $0,03\% \times 47,7 \text{ m} \times 14 \text{ mm}$
quer $0,03\% \times 3 \text{ m} \approx 1 \text{ mm}$
Sicherheit 1,5 $\rightarrow 14 \times 1,5 = 21 \text{ mm}$
Wahl $\neq 25 \text{ mm}$

- Verdrehung: $\angle F$ häufig $\alpha_{ab} = 3,1\%$
 $\angle F$ GBT-Fuss $\alpha_{ab} = 5,7\%$

$$\Rightarrow N_d^{max} = 615 \text{ kN} > 501 \text{ kN}$$

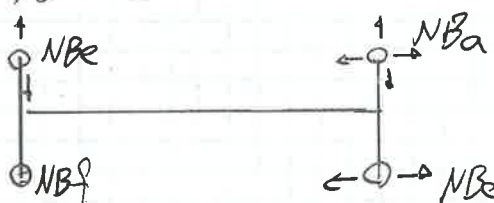
$$N_d^{min} = 122 \text{ kN}$$

$$\alpha_{ab} = 3,0\%$$

$$k_{eqd} = 25,2 \text{ mm}$$

Wahl hohlblech 200/250/83,5

gegen Verdrehen gesichert (den tunken)
da $64 \text{ kN} < 122 \text{ kN}$





Lastentabelle Typ B / C

Dieser Lagertyp ist eine Kombination der Lagertypen B und C, wobei eine Seite dem Typ B und die andere dem Typ C entspricht. Dieses Lager kann z.B. auf der Ober- oder Unterseite mittels Schubdübel bzw. einer Verankerung gegen Verrutschen gesichert werden. Auf der gegenüberliegenden Seite ist es unverankert.



Fall 1: $v_{xyd} = 20\% \cdot v_{xy,max}$				Fall 2: $v_{xyd} = 50\% \cdot v_{xy,max}$				Fall 3: $v_{xyd} = 100\% \cdot v_{xy,max}$				Lagerabmessungen/Parameter						
N_d	N_{dmin} (Beton/Stahl)	v_{xyd}	α_{ab}	N_d	N_{dmin} (Beton/Stahl)	v_{xyd}	α_{ab}	N_d	N_{dmin} (Beton/Stahl)	v_{xyd}	α_{ab}	a	b	t	T_e	Gewicht	K_z	K_{xy}
[kN]	[kN]	[mm]	[%]	[kN]	[kN]	[mm]	[%]	[kN]	[kN]	[mm]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[kN/mm]	[kN/mm]
130	(38 / 38)	3.7	2.3	122	(36 / 36)	9.2	1.8	108	(34 / 68)	18.5	1.3	100	150	39.5	19	2.6	37.7	0.73
89	(37 / 37)	5.3	6.1	81	(34 / 34)	13.2	5.5	67	(34 / 68)	26.5	4.5	100	150	50.5	27	3.1	26.3	0.51
196	(51 / 51)	3.7	1.4	184	(48 / 48)	9.2	1.1	163	(45 / 90)	18.5	0.8	100	200	39.5	19	3.5	62.8	0.97
134	(50 / 50)	5.3	4.0	122	(46 / 46)	13.2	3.7	101	(45 / 90)	26.5	3.0	100	200	50.5	27	4.1	43.8	0.68
552	(80 / 80)	3.7	0.0	507	(77 / 77)	9.2	0.0	435	(72 / 135)	18.5	0.0	150	200	39.5	19	5.3	163.1	1.46
430	(79 / 79)	5.3	1.3	405	(75 / 75)	13.2	1.0	363	(68 / 135)	26.5	0.6	150	200	50.5	27	6.3	113.8	1.02
326	(78 / 78)	6.9	3.4	301	(72 / 72)	17.2	3.0	260	(68 / 135)	34.5	2.4	150	200	61.5	35	7.3	87.4	0.78
763	(101 / 101)	3.7	0.0	700	(97 / 97)	9.2	0.0	601	(90 / 169)	18.5	0.0	150	250	39.5	19	6.7	244.3	1.82
594	(100 / 100)	5.3	1.0	560	(94 / 94)	13.2	0.7	502	(85 / 169)	26.5	0.4	150	250	50.5	27	7.9	170.5	1.27
451	(99 / 99)	6.9	2.4	416	(91 / 91)	17.2	2.1	359	(85 / 169)	34.5	1.7	150	250	61.5	35	9.1	131.0	0.98
983	(122 / 122)	3.7	0.0	902	(117 / 117)	9.2	0.0	775	(109 / 203)	18.5	0.0	150	300	39.5	19	8.1	332.9	2.19
766	(120 / 120)	5.3	0.7	721	(113 / 113)	13.2	0.6	647	(102 / 203)	26.5	0.3	150	300	50.5	27	9.5	232.4	1.53
581	(119 / 119)	6.9	1.8	537	(110 / 110)	17.2	1.6	462	(102 / 203)	34.5	1.3	150	300	61.5	35	11.0	178.5	1.17
1'233	(136 / 136)	5.3	0.0	1'128	(130 / 130)	13.2	0.0	964	(121 / 225)	26.5	0.0	200	250	50.5	27	10.7	320.9	1.70
1'000	(135 / 135)	6.9	0.8	944	(127 / 127)	17.2	0.7	851	(115 / 225)	34.5	0.3	200	250	61.5	35	12.3	246.5	1.30
805	(134 / 134)	8.5	2.1	749	(124 / 124)	21.2	1.8	656	(113 / 225)	42.5	1.4	200	250	72.5	43	14.0	200.1	1.06
671	(133 / 133)	10.1	3.4	615	(122 / 122)	25.2	3.0	522	(113 / 225)	50.5	2.4	200	250	83.5	51	15.6	168.4	0.89
1'610	(164 / 164)	5.3	0.0	1'473	(157 / 157)	13.2	0.0	1'259	(145 / 270)	26.5	0.0	200	300	50.5	27	12.8	446.4	2.04
1'306	(163 / 163)	6.9	0.7	1'233	(154 / 154)	17.2	0.4	1'111	(138 / 270)	34.5	0.1	200	300	61.5	35	14.8	342.9	1.57
1'051	(161 / 161)	8.5	1.7	978	(150 / 150)	21.2	1.4	856	(135 / 270)	42.5	1.0	200	300	72.5	43	16.8	278.3	1.27
877	(160 / 160)	10.1	2.5	804	(147 / 147)	25.2	2.4	682	(135 / 270)	50.5	1.8	200	300	83.5	51	18.8	234.2	1.07
2'002	(192 / 192)	5.3	0.0	1'832	(184 / 184)	13.2	0.0	1'566	(170 / 315)	26.5	0.0	200	350	50.5	27	15.0	581.4	2.38
1'624	(190 / 190)	6.9	0.6	1'533	(180 / 180)	17.2	0.4	1'382	(162 / 315)	34.5	0.1	200	350	61.5	35	17.3	446.5	1.83
1'307	(189 / 189)	8.5	1.3	1'216	(176 / 176)	21.2	1.1	1'065	(158 / 315)	42.5	0.8	200	350	72.5	43	19.7	362.5	1.48
1'090	(187 / 187)	10.1	2.1	999	(172 / 172)	25.2	1.8	848	(158 / 315)	50.5	1.6	200	350	83.5	51	22.0	305.1	1.25
2'405	(220 / 220)	5.3	0.0	2'201	(211 / 211)	13.2	0.0	1'881	(195 / 360)	26.5	0.0	200	400	50.5	27	17.2	723.6	2.72
1'951	(218 / 218)	6.9	0.4	1'842	(206 / 206)	17.2	0.3	1'660	(186 / 360)	34.5	0.1	200	400	61.5	35	19.9	555.8	2.09
1'570	(216 / 216)	8.5	1.0	1'461	(201 / 201)	21.2	0.8	1'279	(180 / 360)	42.5	0.7	200	400	72.5	43	22.5	451.2	1.69
1'310	(214 / 214)	10.1	1.7	1'201	(197 / 197)	25.2	1.4	1'019	(180 / 360)	50.5	1.1	200	400	83.5	51	25.2	379.7	1.43
2'332	(208 / 208)	5.3	0.0	2'154	(201 / 201)	13.2	0.0	1'873	(189 / 338)	26.5	0.0	250	300	50.5	27	16.1	711.3	2.55
2'316	(206 / 206)	6.9	0.0	2'116	(197 / 197)	17.2	0.0	1'804	(182 / 338)	34.5	0.0	250	300	61.5	35	18.6	546.4	1.96
1'926	(205 / 205)	8.5	0.6	1'821	(194 / 194)	21.2	0.4	1'646	(175 / 338)	42.5	0.1	250	300	72.5	43	21.1	443.5	1.59
1'610	(204 / 204)	10.1	1.4	1'505	(190 / 190)	25.2	1.3	1'329	(169 / 338)	50.5	0.8	250	300	83.5	51	23.6	373.3	1.34
1'380	(202 / 202)	11.7	2.3	1'275	(187 / 187)	29.2	2.0	1'099	(169 / 338)	58.5	1.6	250	300	94.5	59	26.1	322.2	1.15
3'144	(279 / 279)	5.3	0.1	3'039	(270 / 270)	13.2	0.0	2'843	(254 / 450)	26.5	0.0	250	400	50.5	27	21.6	1'177.2	3.40
3'123	(277 / 277)	6.9	0.1	2'986	(265 / 265)	17.2	0.1	2'738	(245 / 450)	34.5	0.0	250	400	61.5	35	25.0	904.2	2.61
2'924	(275 / 275)	8.5	0.4	2'764	(260 / 260)	21.2	0.3	2'498	(235 / 450)	42.5	0.0	250	400	72.5	43	28.3	734.0	2.12
2'444	(273 / 273)	10.1	1.0	2'284	(255 / 255)	25.2	0.8	2'018	(226 / 450)	50.5	0.6	250	400	83.5	51	31.6	617.7	1.78
2'095	(271 / 271)	11.7	1.6	1'935	(251 / 251)	29.2	1.4	1'669	(225 / 450)	58.5	1.0	250	400	94.5	59	35.0	533.3	1.54
3'170	(335 / 335)	7.7	0.0	2'907	(321 / 321)	19.2	0.0	2'494	(299 / 540)	38.5	0.0	300	400	68.5	39	33.4	586.3	2.81
2'673	(332 / 332)	10.1	0.6	2'529	(314 / 314)	25.2	0.4	2'290	(285 / 540)	50.5	0.1	300	400	84.5	51	39.0	447.0	2.14
2'141	(329 / 329)	12.5	1.7	1'997	(307 / 307)	31.2	1.6	1'758	(270 / 540)	62.5	1.1	300	400	100.5	63	44.6	361.2	1.73
1'781	(326 / 326)	14.9	2.8	1'637	(300 / 300)	37.2	2.5	1'398	(270 / 540)	74.5	2.1	300	400	116.5	75	50.1	303.0	1.45
4'214	(420 / 420)	7.7	0.0	3'995	(403 / 403)	19.2	0.0	3'428	(375 / 675)	38.5	0.0	300	500	68.5	39	41.9	865.4	3.51
3'673	(417 / 417)	10.1	0.4	3'476	(394 / 394)	25.2	0.3	3'147	(357 / 675)	50.5	0.0	300	500	84.5	51	48.9	659.8	2.67
2'943	(413 / 413)	12.5	1.3	2'745	(385 / 385)	31.2	1.1	2'416	(339 / 675)	62.5	0.7	300	500	100.5	63	55.8	533.1	2.16
2'447	(409 / 409)	14.9	2.1	2'250	(377 / 377)	37.2	1.8	1'921	(338 / 675)	74.5	1.6	300	500	116.5	75	62.8	447.2	1.81
5'070	(505 / 505)	7.7	0.1	4'864	(485 / 485)	19.2	0.0	4'401	(451 / 810)	38.5	0.0	300	600	68.5	39	50.4	1'167.0	4.21
4'717	(501 / 501)	10.1	0.3	4'463	(474 / 474)	25.2	0.1	4'041	(429 / 810)	50.5	0.0	300	600	84.5	51	58.7	889.7	3.21
3'779	(497 / 497)	12.5	1.0	3'525	(464 / 464)	31.2	0.8	3'103	(408 / 810)	62.5	0.6	300	600	100.5	63	67.1	718.9	2.59
3'143	(493 / 493)	14.9	1.6	2'889	(453 / 453)	37.2	1.4	2'467	(405 / 810)	74.5	1.1	300	600	116.5	75	75.5	603.1	2.17
4'451	(444 / 444)	7.7	0.1	4'297	(428 / 428)	19.2	0.0	3'879	(403 / 709)	38.5	0.0	350	450	68.5	39	44.0	995.8	3.68
4'419	(441 / 441)	10.1	0.3	4'218	(421 / 421)	25.2	0.0	3'726	(387 / 709)	50.5	0.0	350	450	84.5	51	51.4	759.1	2.81
3'841	(437 / 437)	12.5	0.8	3'622	(413 / 413)	31.2	0.6	3'258	(371 / 709)	62.5	0.3	350	450	100.5	63	58.7	613.4	2.27
3'199	(434 / 434)	14.9	1.7	2'980	(405 / 405)	37.2	1.4	2'616	(355 / 709)	74.5	1.0	350	450	116.5	75	66.0	514.6	1.90
2'735	(431 / 431)	17.3	2.5	2'516	(397 / 397)	43.2	2.3	2'152	(355 / 709)	86.5	1.8	350	450	132.5	87	73.4	443.2	1.64
5'660	(564 / 564)	10.1	0.4	5'436	(542 / 542)	25.2	0.3	5'062	(505 / 900)	50.5	0.1	400	500	84.5	51	65.4	1'197.5	3.56
5'625	(561 / 561)	12.5	0.6	5'347	(533 / 533)	31.2	0.4	4'884	(487 / 900)	62.5	0.1	400	500	100.5	63	74.8	967.6	2.88
5'324	(557 / 557)	14.9	0.8	5'009	(524 / 524)	37.2	0.7	4'483	(469 / 900)	74.5	0.4	400	500	116.5	75	84.1	811.8	2.42
4'556	(554 / 554)	17.3	1.6	4'241	(515 / 515)	43.2	1.4	3'715	(451 / 900)	86.5	1.0	400	500	132.5	87	93.4	699.1	2.08
3'976	(550 / 550)	19.7	2.3	3'660	(506 / 506)	49.2	2.0	3'134	(450 / 900)	98.5	1.6	400	500	148.5	99	102.8	614.0	1.83

GRENZWERTE VERSCHIEBUNG DX (Schwerachsen)

und zugehörige Komponenten

Grenzwertspezifikation: häufig

Stab	EI	EK	Distanz [m]	Dx _{min} Dx _{max} [mm]	Dy [mm]	Dz [mm]	Rx [mrad]	Ry [mrad]	Rz [mrad]
S_8	1	3	0.00	7.13	0	-0.00	0	23.49	0
		1		9.51	0	-0.00	0	31.34	0
		3	3.78	7.40	0	-86.52	0	21.91	0
		1		11.26	0	-115.07	0	29.07	0
		3	7.55	7.57	0	-163.30	0	18.60	0
		1		12.85	0	-216.80	0	24.62	0
		3	11.32	7.59	0	-226.16	0	14.64	0
		1		14.22	0	-299.91	0	19.35	0
		3	15.10	7.43	0	-273.65	0	10.52	0
		1		15.36	0	-362.62	0	13.88	0
		3	0.00	7.43	0	-273.64	0	10.52	0
		1		15.36	0	-362.62	0	13.88	0
S_11	1	3	4.38	6.64	0	-308.78	0	5.45	0
		1		15.87	0	-408.93	0	7.18	0
		3	8.75	5.86	0	-345.34	0	-0.00	0
		1		16.37	0	-404.23	0	-0.00	0
		3	13.12	4.89	0	-332.52	0	-5.83	0
		1		17.03	0	-389.14	0	-6.86	0
		3	17.50	3.93	0	-294.91	0	-11.27	0
		1		17.69	0	-344.90	0	-13.25	0
		3	0.00	3.93	0	-294.91	0	-11.27	0
		1		17.69	0	-344.89	0	-13.25	0
		3	3.78	3.66	0	-243.95	0	-15.72	0
		1		18.91	0	-285.08	0	-18.44	0
S_12	1	3	7.55	3.60	0	-176.40	0	-20.01	0
		1		20.35	0	-205.89	0	-23.44	0
		3	11.32	3.71	0	-93.69	0	-23.64	0
		1		21.99	0	-109.10	0	-27.62	0
		3	15.10	3.96	0	-0.01	0	-25.55	0
		1		23.76	0	-0.01	0	-29.62	0

EI : Stabelement

EK : massgebende Einwirkungskombination

Von: Chrysovergis, Antonios <achrysovergis@mageba-group.com>
Gesendet: Donnerstag, 8. Mai 2025 11:14
An: Benjamin Giger
Cc: Haschenz, Max
Betreff: RE: Campus-Steg, Wattwil | Brückenlager

Sehr geehrter Hr. Giger,

dieses Lager funktioniert, und es gibt noch Reserven für die Rotation.
Das Lager Typ B/C ist nur unten verankert!

Bei Fragen bitte rufen Sie mich an.

Width (Shorter dimension)	a	=	200 [mm]
Length (Longer dimension)	b	=	250 [mm]
Total thickness of elastomer	T _e	=	42.5 [mm]
Total thickness of bearing	T _b	=	72.5 [mm]

Meine Angaben für die Berechnung:

2.2 Vertical loads (ULS) $N_{Ed,max} = 615 \text{ [kN]}$ $N_{Ed,min} = 64 \text{ [kN]}$	2.3 Horizontal loads (ULS - Optional) $V_{a,Ed} = 0.0 \text{ [kN]}$ $V_{b,Ed} = 0.0 \text{ [kN]}$
2.4 Movements $V_a = V_x = 26 \text{ [mm]}$ $V_b = V_y = 0 \text{ [mm]}$	$V_{xy,d} = 26.0 \text{ [mm]}$
2.5 Maximum rotations $\alpha_{a,d,max} = 0.0030 \text{ [rad]}$ $\alpha_{b,d,max} = 0.0030 \text{ [rad]}$ $\alpha_{ab,d,max} = 0.0042 \text{ [rad]}$	2.6 Minimum rotations $\alpha_{a,d,min} = 0.0030 \text{ [rad]}$ $\alpha_{b,d,min} = 0.0000 \text{ [rad]}$ $\alpha_{ab,d,min} = 0.0030 \text{ [rad]}$

Freundliche Grüsse / best regards,

Antonios Chrysovergis
Sales Engineer

mageba

engineering connections® – since 1963
Bauwerkslager | Dehnfugen | Erdbebenschutz | Bauwerksüberwachung

[mageba sa](#) | [Trafostrasse 1](#) | [8180 Bülach](#) | [Switzerland](#)

D: +41448724078





Tragfähigkeit

$\hookrightarrow n = 8 \text{ Stk/m}$

$$m_{Rd} = 8 \times \frac{\pi \times 12,5^3}{4} \times \frac{235}{1105} = 2,75 \text{ kNm/m}$$

↳ Nachweis Biegung $\eta = 2,64/2,75 = \underline{0,96 \leq 1,00} \checkmark$ Erkl. 11

Diagram illustrating the division of a 5m track into 8 equal segments, each 625m long.

$$F_{E,d} = \frac{1,55 \text{ kNm}}{0,1 \text{ m}} = 16,5 \text{ kN} + \overbrace{24 \text{ kN/m} \times 0,625 \text{ m}}^{V_{E,d}} = 18 \text{ kN}$$

Sechskantschraube M12 $A_s = 84,3 \text{ mm}^2$

$$F_{\text{L2}} = 0,75 \times \frac{800 \text{ kg} \times 84,3 \text{ mm}^2}{1,25} \times 0,9 = 36,4 \text{ kN} > 18 \text{ kN} = F_{\text{SE0}} \quad \checkmark$$



4.7 Bauzustand

Berechnung der ständigen Lasten aus Stahl-9 = 614 kN
aus Materialliste = 700 kN

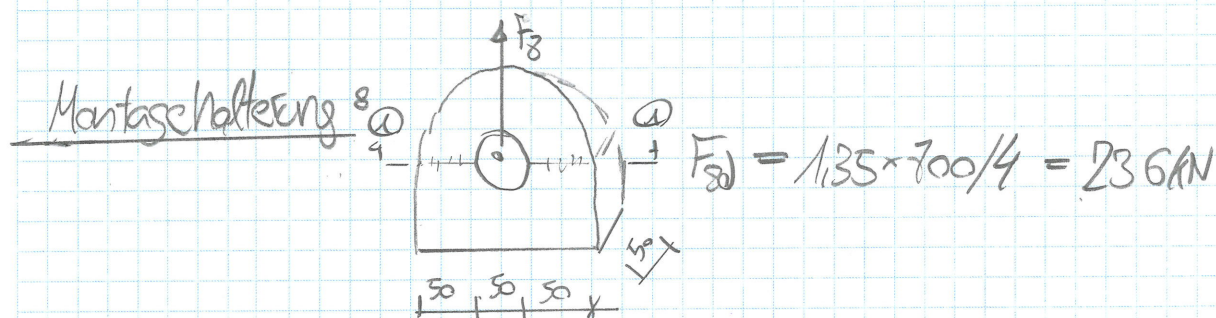
$$\rightarrow 700 \text{ kN} / 4 = 175 \text{ kN} / \text{Aufhängung}$$

Annahme = Geländer + Gussasphalt vor Ort (nicht in EG)

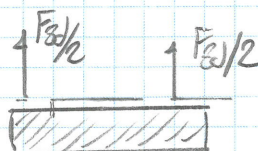
Deformation ca. $\frac{18'250 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} = 1/625$ als Kragarm in Ordnung

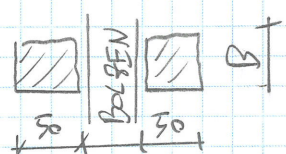
Schnittgrößen im Bauzustand = $M_{Ed} = 1,35 \times -859,8 \text{ kNm} = -1'174 \text{ kNm}$
 $V_{Ed} = 1,35 \times 159,6 \text{ kN} = 215 \text{ kN}$

$$\rightarrow \sigma_v = 58,1 \text{ MPa} < 338 \text{ MPa} \quad \text{Tragfähigkeit in Ordnung}$$



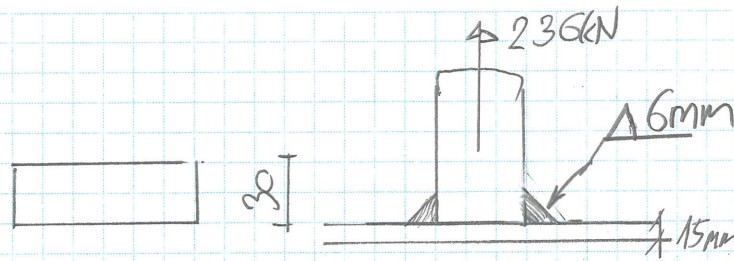
Stahlbolzen $A_v = \left(\frac{50}{2}\right)^2 \pi = 1'963 \text{ mm}^2$ $V_R = A_v \frac{f_{vd}}{1,25} = 1'963 \text{ mm}^2 \times \frac{235 \text{ MPa}}{1,25}$
 $= 369 \text{ kN}$

 $\rightarrow \frac{236}{2} = 118 \text{ kN} < 369 \text{ kN}$

Stahlblech  $F_{30} = 100 \text{ mm} \times B \times \frac{235}{1,25} = 236 \text{ kN}$
 $B = 13 \text{ mm} \rightarrow \text{Wahl } 30 \text{ mm}$

$$\rightarrow F_{30} = 564 \text{ kN} > 236 \text{ kN}$$

Schweißnaht 8



$$F_{Rd} = 8 \times 150 \times 0,8 \times \frac{f_{yk}}{\gamma_{m2}} = F_{Ed} = 236 \text{ kN}$$

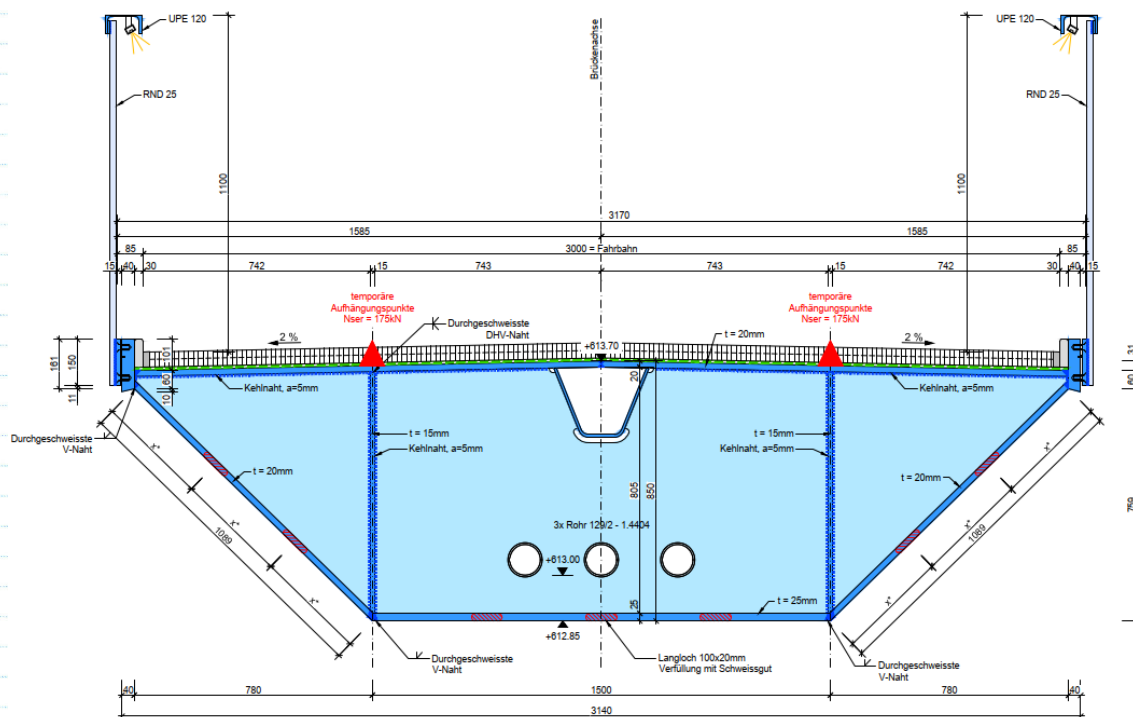
$$L \rightarrow s = \frac{F_{8,Ed} \cdot 8m^2}{0,8 \times 0,8 \times f_y} = \frac{286 \times 1,25}{2 \times 150 \times 0,8 \times 235} = 5,23 \text{ mm}$$

$$a = \frac{s}{\sqrt{2}} \approx 4 \text{ mm} \rightarrow \text{Wahl } a = 6 \text{ mm } F_{RJ} = 383 \text{ kN}$$

Nachweis: $F_{\text{B,Ed}} = 236 \text{ kN} < 383 \text{ kN}$

Befestigungspunkt Brücke:

Querschnitt A-A 1:10
Brückenmitte

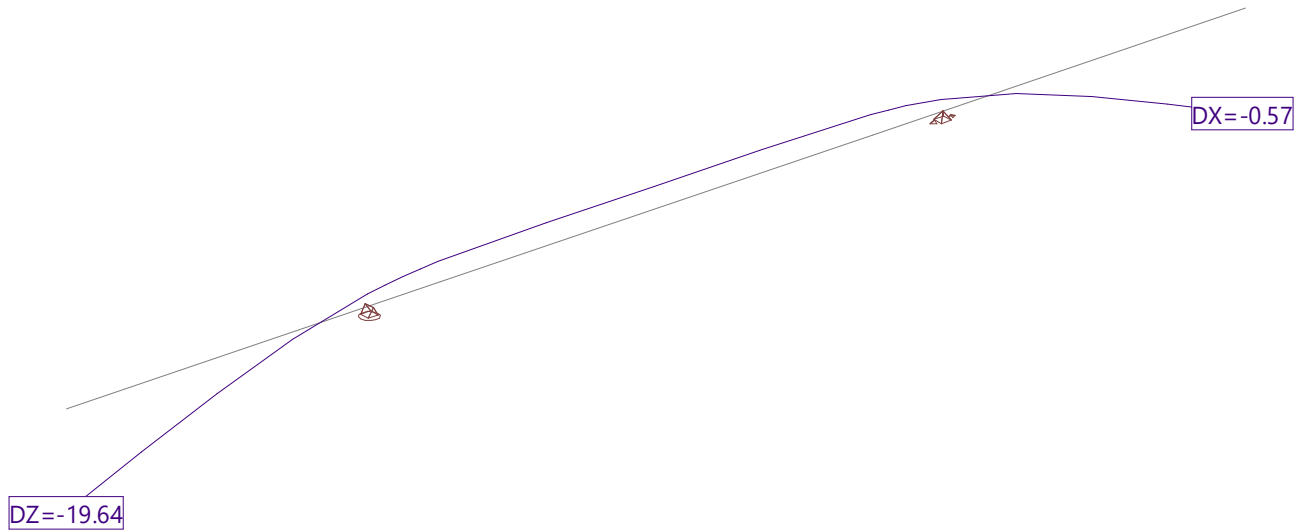


Struktur

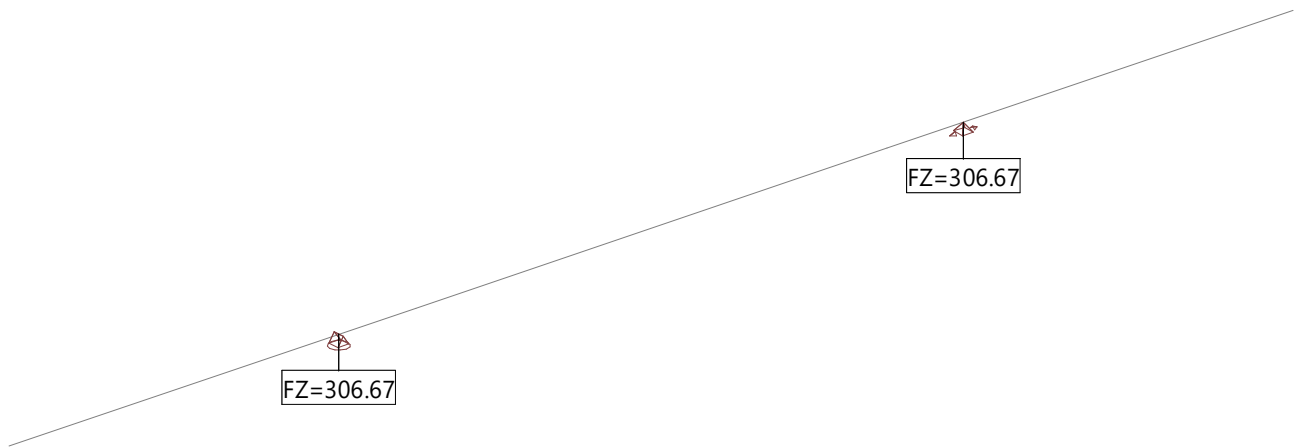
Mstb. 1 :283.0



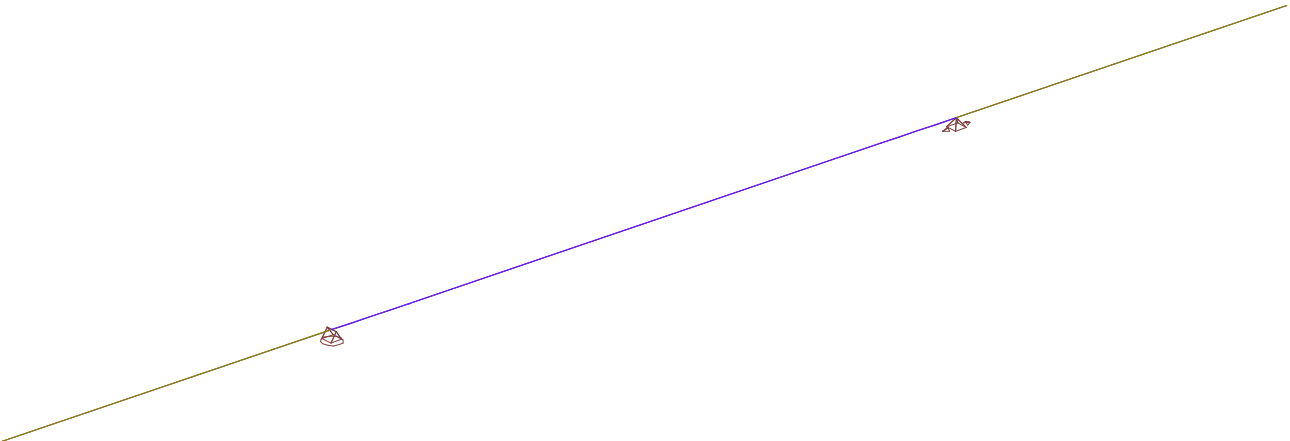
VERSCHIEBUNGEN D (Schwerachsen) für: B0 [mm], Überhöhung: 200.0



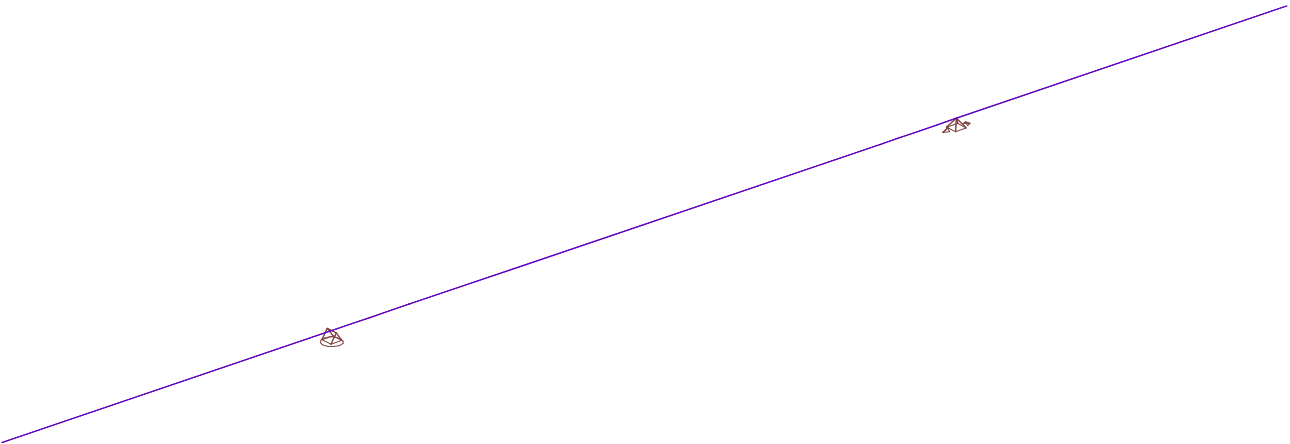
Reaktionen für B0, Summe FX: 0.00, Summe FZ: 613.33
In Knoten [kN]/[kNm], Summe FX: 0.00, Summe FZ: 613.33



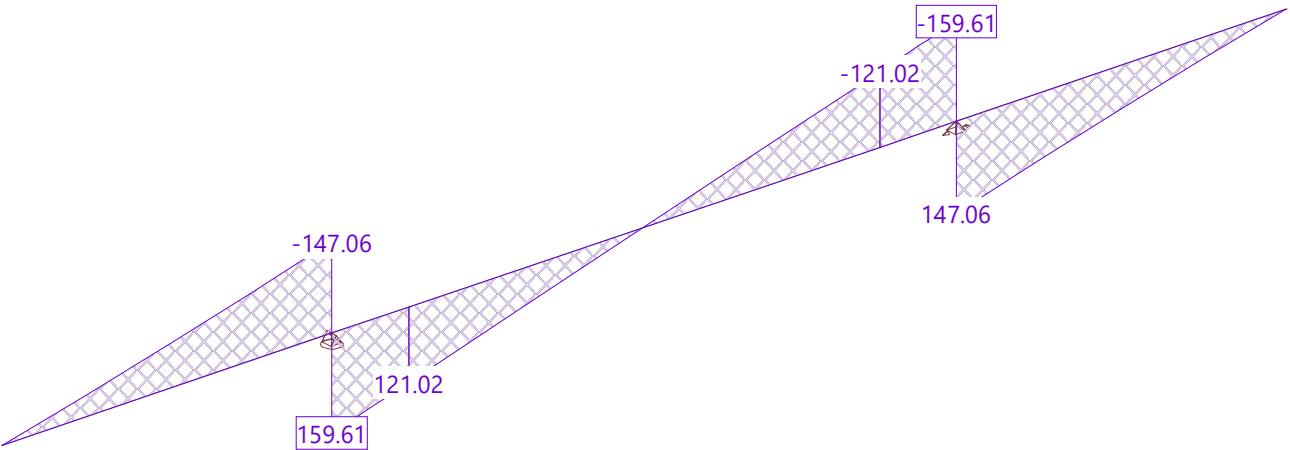
Schnittkraft N (Stabachsen) [kN] für: B0



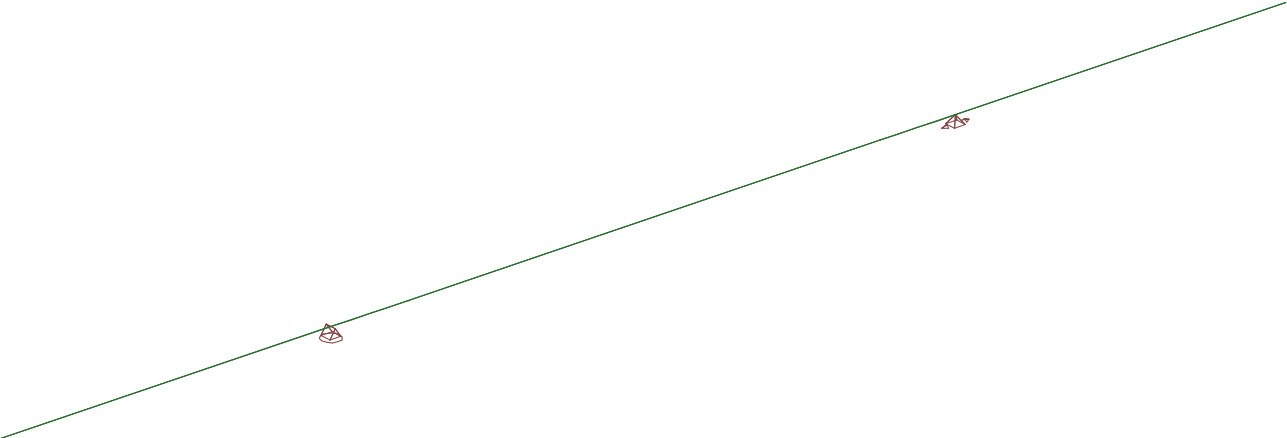
Schnittkraft Vy (Stabachsen) [kN] für: B0



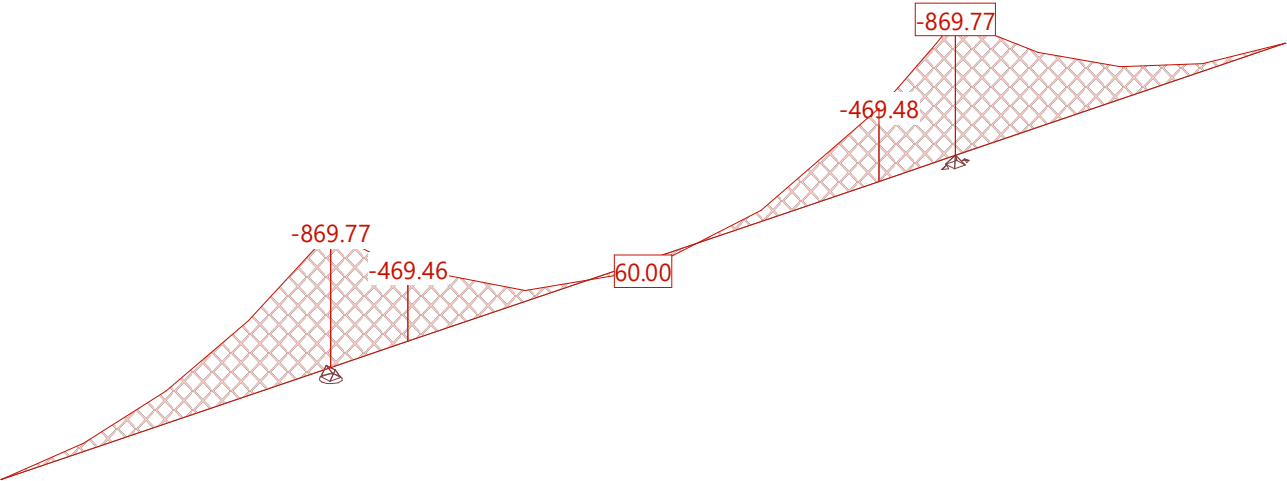
Schnittkraft Vz (Stabachsen) [kN] für: B0



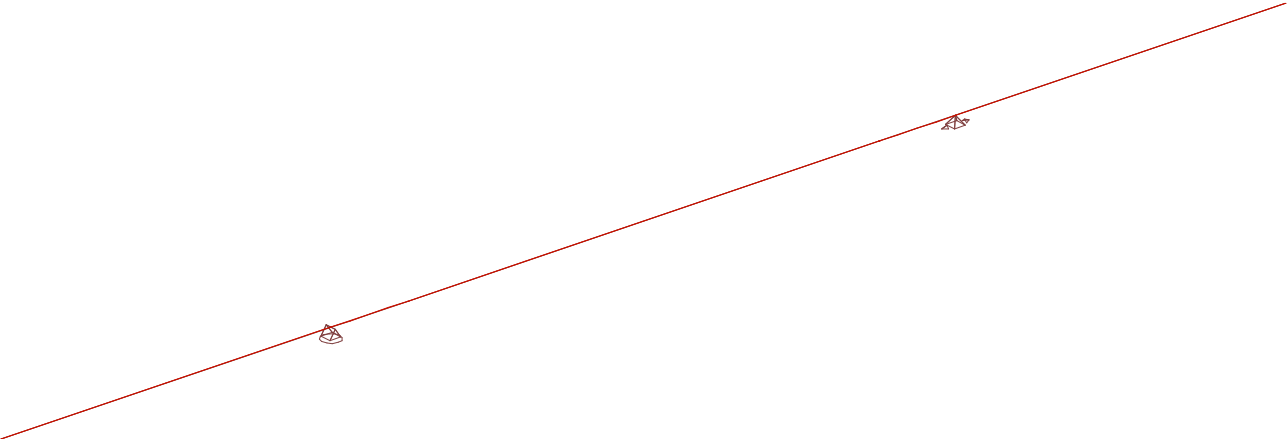
Schnittkraft T (Stabachsen) [kNm] für: B0



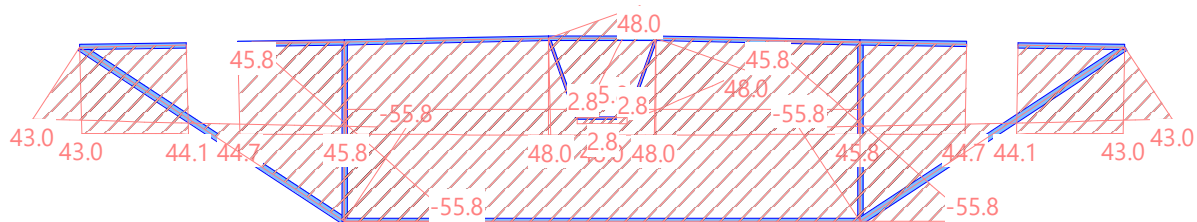
Schnittkraft My (Stabachsen) [kNm] für: B0



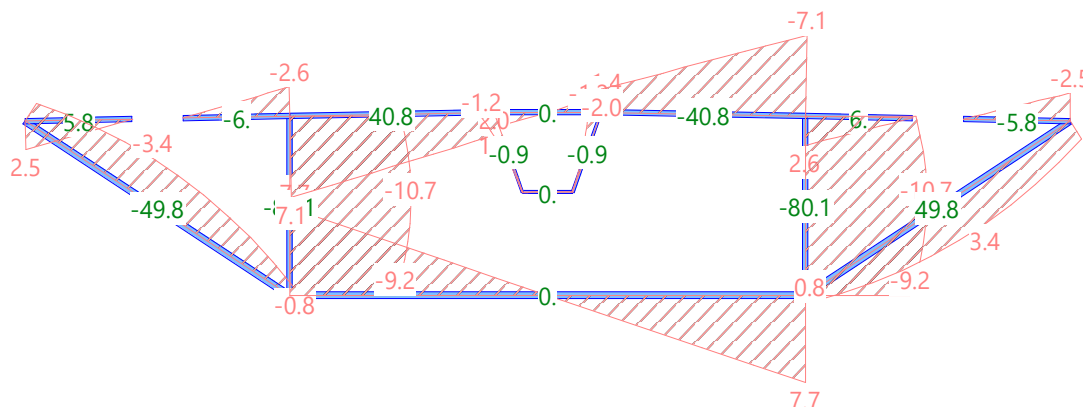
Schnittkraft Mz (Stabachsen) [kNm] für: B0



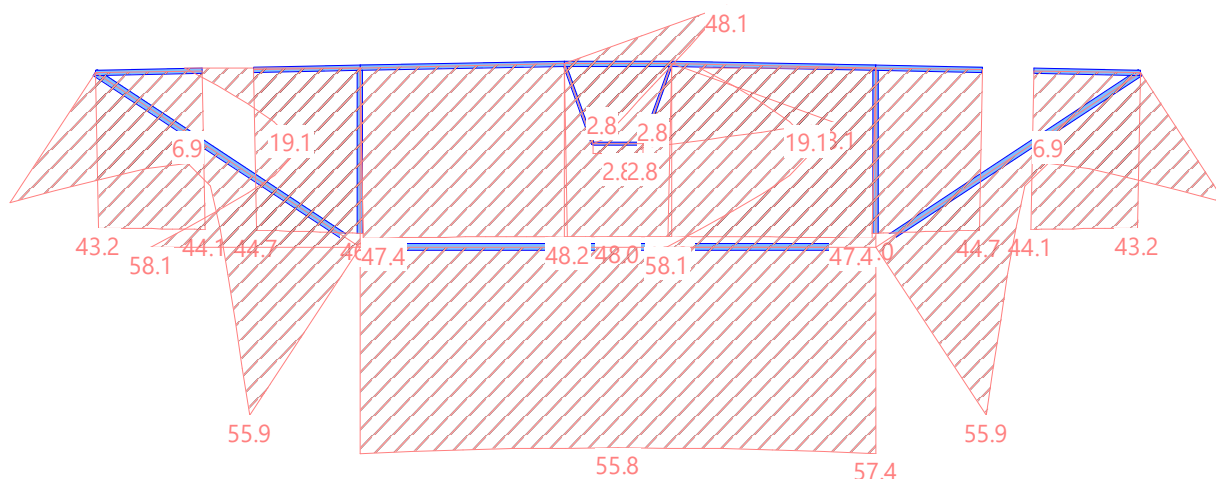
Mstb. 1 :22.0



Mstb. 1 :22.0



Querschnitt AUFLAGER (S355): Vergleichsspannung [N/mm²] : Ny=0.0 My=-1174.0 Mz=0.0 Vy=0.0 Vz=-215.0 T=0.0 Bezugspunkt (A,S)



	Biegung und Normalkraft			Querkraft und Torsion			QS Klasse			
	N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	V _y [kN]	V _z [kN]	T [kNm]	Element	Kl	b/t	L
	0.	-1174.	0.	0.	-215.	0.	WE11	4	73.	z

L : L = Angenommene Lagerung (e=einseitig, z=zweiseitig)

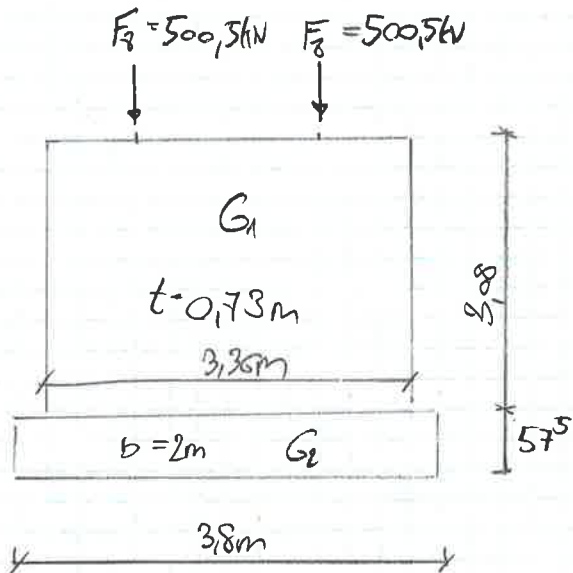
Normal- und Schub-Spannungen (Material linear-elastisch) Querschnittsklasse 4 !!!!

Name	Ort	y _q [m]	z _q [m]	S [kN]	σ [N/mm ²]	τ [N/mm ²]	σ _V (σ,τ) [N/mm ²]	σ _{HD} (σ,τ) [N/mm ²]	σ _{HZ} (σ,τ) [N/mm ²]
WE1	S	-0.16	0.83		48.0	1.4	48.1	-0.0	48.1
	M	-0.00	0.83	-0.0	48.0	-0.0	48.0	-0.0	48.0
	E	0.16	0.83		48.0	-1.4	48.1	-0.0	48.1
WE10	S	1.21	0.81		44.1	-0.0	44.1	0	44.1
	M	1.36	0.81	-5.8	43.6	-1.2	43.6	-0.0	43.6
	E	1.52	0.81		43.0	-2.5	43.2	-0.1	43.1
WE11	S	-0.75	0.30		-55.8	-7.7	57.4	-56.9	1.0
	M	-0.00	0.30	0.0	-55.8	0.0	55.8	-55.8	0.0
	E	0.75	0.30		-55.8	7.7	57.4	-56.9	1.0
WE12	S	0.07	0.60		2.8	-0.0	2.8	-0.0	2.8
	M	0.11	0.72	-0.9	25.4	-0.4	25.4	-0.0	25.4
	E	0.16	0.83		48.0	-1.2	48.1	-0.0	48.1
WE13	S	-1.52	0.81		43.0	2.5	43.2	-0.1	43.1
	M	-1.37	0.81	5.8	43.6	1.2	43.6	-0.0	43.6
	E	-1.21	0.81		44.1	0.0	44.1	0	44.1
WE14	S	0.75	0.82		45.8	2.6	46.0	-0.1	46.0
	M	0.90	0.82	6.0	45.2	1.3	45.3	-0.0	45.3
	E	1.06	0.82		44.7	-0.0	44.7	0	44.7
WE15	S	0.16	0.83		48.0	-2.0	48.2	-0.1	48.1
	M	0.45	0.83	-40.8	46.9	-4.6	47.6	-0.4	47.4
	E	0.75	0.82		45.8	-7.1	47.4	-1.1	46.9
WE2	S	-1.06	0.82		44.7	-0.0	44.7	0	44.7
	M	-0.91	0.82	-6.0	45.2	-1.3	45.3	-0.0	45.3
	E	-0.75	0.82		45.8	-2.6	46.0	-0.1	46.0
WE3	S	-1.52	0.81		43.0	-1.9	43.1	-0.1	43.1
	M	-1.14	0.55	-49.8	-6.4	-3.4	8.7	-7.9	1.5
	E	-0.75	0.30		-55.8	-0.8	55.9	-55.9	0.0
WE4	S	-0.75	0.82		45.8	-9.7	48.8	-2.0	47.8
	M	-0.75	0.56	-80.1	-5.0	-10.7	19.1	-13.5	8.4
	E	-0.75	0.30		-55.8	-9.2	58.1	-57.3	1.5
WE5	S	-0.07	0.60		2.8	0.0	2.8	-0.0	2.8
	M	0	0.60	-0.0	2.8	-0.0	2.8	-0.0	2.8
	E	0.07	0.60		2.8	-0.0	2.8	-0.0	2.8
WE6	S	0.75	0.82		45.8	-9.7	48.8	-2.0	47.8
	M	0.75	0.56	-80.1	-5.0	-10.7	19.1	-13.5	8.4
	E	0.75	0.30		-55.8	-9.2	58.1	-57.3	1.5
WE7	S	0.75	0.30		-55.8	0.8	55.9	-55.9	0.0
	M	1.13	0.55	49.8	-6.4	3.4	8.7	-7.9	1.5
	E	1.52	0.81		43.0	1.9	43.1	-0.1	43.1
WE8	S	-0.75	0.82		45.8	7.1	47.4	-1.1	46.9
	M	-0.45	0.83	40.8	46.9	4.6	47.6	-0.4	47.4
	E	-0.16	0.83		48.0	2.0	48.2	-0.1	48.1
WE9	S	-0.07	0.60		2.8	-0.0	2.8	-0.0	2.8
	M	-0.11	0.72	-0.9	25.4	-0.4	25.4	-0.0	25.4
	E	-0.16	0.83		48.0	-1.2	48.1	-0.0	48.1

$\sigma_V(\sigma, \tau)$: von Mises = $(\sigma^2 + 3\tau^2)^{0.5}$
 $\sigma_{HD}(\sigma, \tau)$: Hauptdruckspannung = $0.5 \sigma - 0.5(\sigma^2 + 4\tau^2)^{0.5}$
 $\sigma_{HZ}(\sigma, \tau)$: Hauptzugspannung = $0.5 \sigma + 0.5(\sigma^2 + 4\tau^2)^{0.5}$

5. Nachweise Widerlager

WIDERLAGER



$$G_1 = 0.73 \times 3.8 \times 3.36 \times 25 = 233 \text{ kN}$$

$$G_2 = 2.0 \times 0.515 \times 3.8 \times 25 = 109 \text{ kN}$$

$$\underline{342 \text{ kN}}$$

$$\mu = 35 \text{ MN/m}^2$$

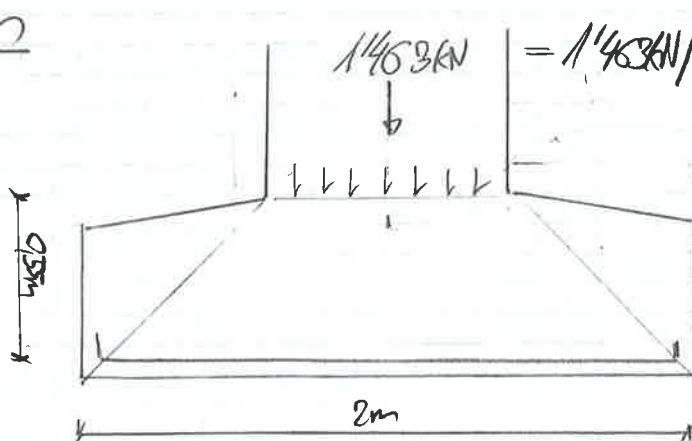
• Pressung $G_B = [1001 \text{ kN} + 1.35 \times 342 \text{ kN}] / [3.8 \text{ m} \times 2 \text{ m}] = 1463 \text{ kN} / 7.6 \text{ m}^2 =$
 $= 193 \text{ kN/m}^2 \text{ (Design)}$

↳ Setzung $\times 193 \text{ kN/m}^2 \times 3.85 \text{ m} / 35 \times 1000 \text{ kN/m}^2 = 0.021 \text{ m} \approx \underline{\underline{21 \text{ mm}}}$

• Hydraulischer Grundbruch

Die Widerlager werden durch eine Spundwand allseitig gestützt. Daher ist kein Grundbruch möglich.

• Beton



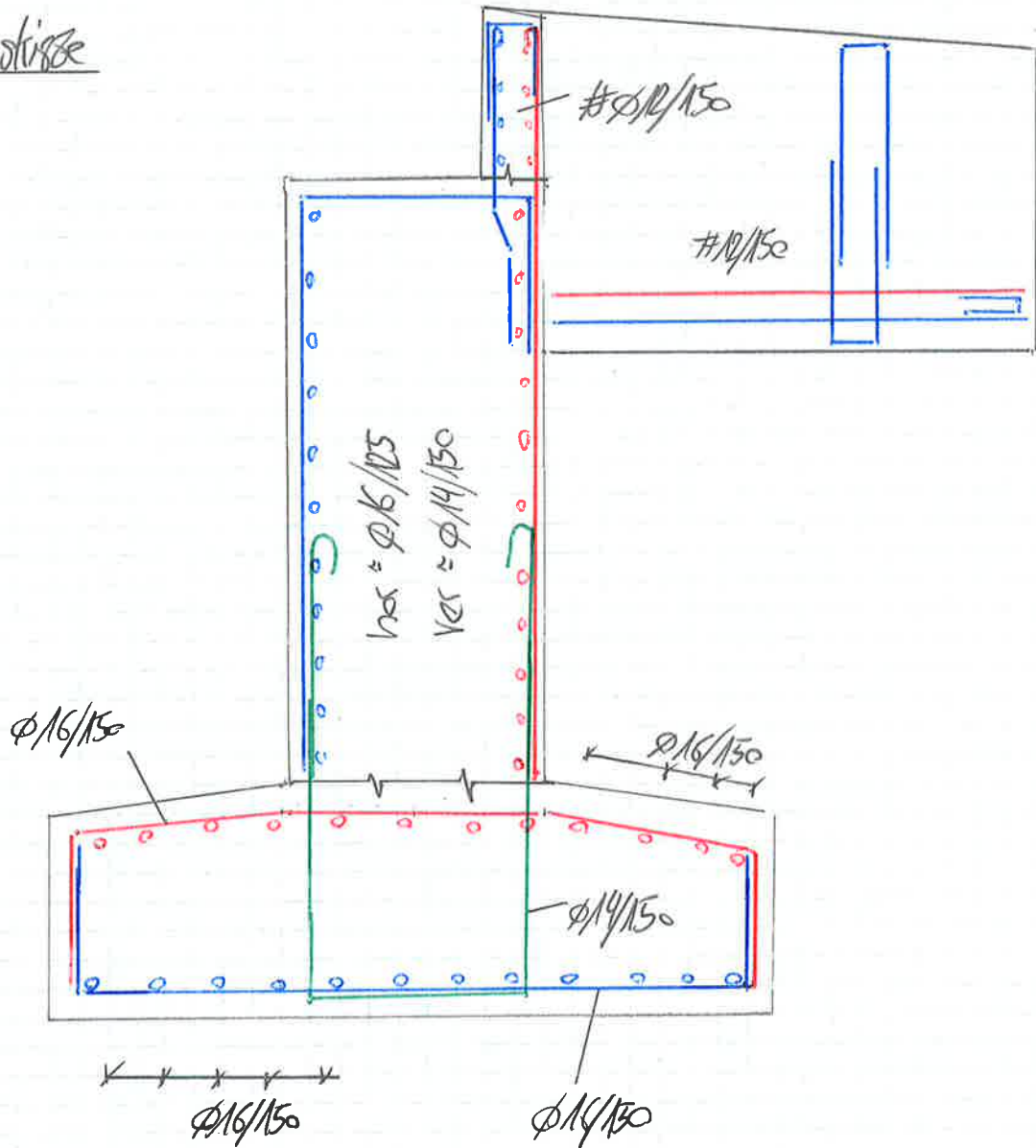
$$V_{Ed} = 2 \times 277 \text{ kN/m} = 554 \text{ kN/m}$$

↳ $V_{Ed} / V_{Rd} = 0.78 < 1.00$

$$M_{Ed} = N_{Ed} \frac{b-c}{8} \approx 435 \text{ kN/m} \cdot (20 - 0.73) / 8 \approx 68 \text{ kNm}$$

$$I_{a, \min} = \frac{M_{Ed}}{0.9 \cdot \sigma_{sd}} = \frac{68 \cdot 10^6}{0.9 \cdot 435 \cdot 550} \approx 320 \text{ mm}^2/\text{m}$$

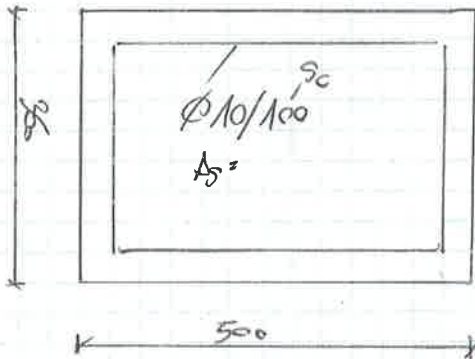
• Bewehrungsstöße



Betrmödel

$$F_g = \frac{1001,6 \text{ kN}}{2} = 500,5 \text{ kN}$$

$$\text{Pressung Beton} = \sigma_c = \frac{500,5 \text{ kN}}{360 \times 500} = 2,78 \text{ MPa}$$



$$a_c = 500 - 2 \times 40 - 12 \times 2 = 396 \text{ mm}$$

$$b_c = 360 - 2 \times 40 - 12 \times 2 = 256 \text{ mm}$$

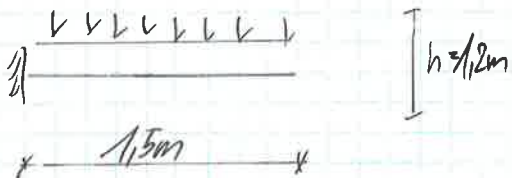
$$\rho = \left[\frac{A_s}{a_c b_c} / \frac{A_s}{b_c x} \right]_{\min} = \frac{2 \times 5^2 \pi}{396 \times 100} / \frac{2 \times 5^2 \pi}{396 \times 100}$$

0,4% / 0,6%

$$N_R = a_c b_c f_{cd} + (a_c - s_c)(b_c - s_c) \rho_k f_{sd} = 396 \times 256 \times 20 + 298 \times 156 \times \frac{0,4}{100} \times 435$$

$$= 2'027 \text{ kN} + 80,34 \text{ kN} = \underline{2'107 \text{ kN}} \geq 500,5 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Anschluss Widerlager

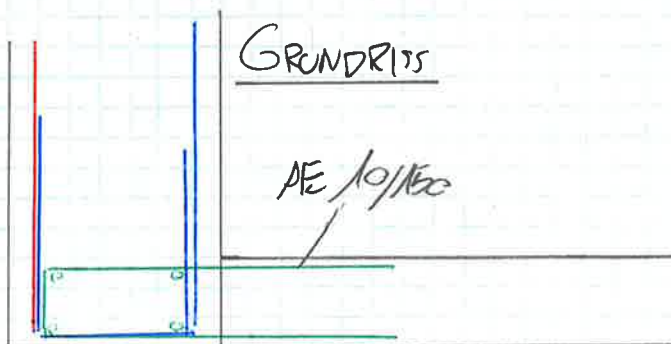


$$E_2 = 0,5 \times 20 \text{ kN/m}^2 \times \frac{1,2 \text{ m}^2}{2} = 7,2 \text{ kN/m}$$

$$P^* = 1,35 \times 7,2 \text{ kN/m} \times 1,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} = 11 \text{ kNm}$$

Breite 180 mm $\hookrightarrow a_s^{\min} = \frac{11 \times 10^6}{0,9 \times 435 \times 140} = 200 \text{ mm}^2 / 1,2 \text{ m} = 167 \text{ mm}^2/\text{m}$

$\hookrightarrow$ Wahl $\phi 10/150$ AE $A_s^{\text{kor}} = 524 \text{ mm}^2/\text{m}$



PROJEKT 34942

OBJEKT N13 Campus Steg

BAUTEIL Fundament Querrichtung

Mindestbewehrung nach SIA 262, 4.4.1.3

Zug beanspruchte Bauteile

Anforderung				normal
Kriterium		Begrenzung der Rissbreiten beim Erreichen von f_{ctd}		
Luftporen		gemäss 22 001-14210 Abs. 7 bei künstlichen Luftporen (NPK D / NPK G) ist der Überwiderstand um 2 Klassen zu erhöhen		
Betonsorte			C30/37	
Mittelwert der Betonzugfestigkeit		f_{ctm}	[N/mm ²]	2.9
Abmessung des Zuggurts	$t = h$	t	[m]	0.50
Abminderungsfaktor	$k_t = \frac{1}{1 + 0.5t}$	k_t	[-]	0.80
Betonzugfestigkeit	$f_{ctd} = k_t f_{ctm}$	f_{ctd}	[N/mm ²]	2.3
Breite des Querschnitts		b	[mm]	1000
Höhe des Querschnitts		h	[mm]	600
Durchmesser Bewehrung		$\varnothing_s$	[mm]	16
Zulässige Stahlspannung		$\sigma_{s,adm}$	[N/mm ²]	435
Betonfläche		A_c	[mm ²]	500000
Mindestbewehrung	total	$A_{s,erf}$	[mm ²]	2667
	pro Lage	$A_{s,erf}$	[mm ²]	1333
Wahl:				
		$\varnothing$	[mm]	16
		s	[mm]	150
		A_s	[mm ²]	1340

$t_{max} = 0.5m$
gem. ASTRA FHB K, TMB 22 001-14210

SIA 262 (99)

SIA 262 (98)

SIA 262-C1:2017

PROJEKT 34942

OBJEKT N13 Campus Steg

BAUTEIL Fundament Längsrichtung

Mindestbewehrung nach SIA 262, 4.4.1.3

Auf Biegung beanspruchte Bauteile

Anforderung				normal
Kriterium			Begrenzung der Rissbreiten beim Erreichen von f_{ctd}	
Luftporen			gemäss 22 001-14210 Abs. 7 bei künstlichen Luftporen (NPK D / NPK G) ist der Überwiderstand um 1 Klassen zu erhöhen	
Betonsorte				C30/37
Mittelwert der Betonzugfestigkeit		f_{ctm}	[N/mm ²]	2.9
Abmessung des Zuggurts	$r = \frac{h}{3}$	t	[m]	0.20
Abminderungsfaktor	$k_t = \frac{1}{1 + 0.5t}$	k_t	[-]	0.91
Betonzugfestigkeit	$f_{ctd} = k_t f_{ctm}$	f_{ctd}	[N/mm ²]	2.6
Breite des Querschnitts		b	[mm]	1000
Höhe des Querschnitts		h	[mm]	600
Elastisches Widerstandsmoment		W	[mm ³]	6.00E+07
Durchmesser Bewehrung		$\varnothing_s$	[mm]	14
Zulässige Stahlspannung		$\sigma_{s,adm}$	[N/mm ²]	435
Statische Höhe		d	[mm]	510
Hebelarm der inneren Kräfte	$z_s = 0.95d$	z_s	[mm]	485
Mindestbewehrung		$A_{s,erf}$	[mm²]	751
Wahl:		$\varnothing$	[mm]	14
		s	[mm]	150
		A_s	[mm ²]	1026

PROJEKT 34942

OBJEKT N13 Campus Steg

BAUTEIL Widerlagerwand Längsrichtung

Mindestbewehrung nach SIA 262, 4.4.1.3

Auf Biegung beanspruchte Bauteile

Anforderung				erhöht
Kriterium		Begrenzung der Rissbreiten beim Erreichen von f_{ctd}		
Luftporen		gemäss 22 001-14210 Abs. 7 bei künstlichen Luftporen (NPK D / NPK G) ist der Überwiderstand um 1 Klassen zu erhöhen		
Betonsorte			C30/37	
Mittelwert der Betonzugfestigkeit		f_{ctm}	[N/mm ²]	2.9
Abmessung des Zuggurts	$t = \frac{h}{3}$	t	[m]	0.24
Abminderungsfaktor	$k_t = \frac{1}{1 + 0.5t}$	k_t	[-]	0.89
Betonzugfestigkeit	$f_{ctd} = k_t f_{ctm}$	f_{ctd}	[N/mm ²]	2.6
Breite des Querschnitts		b	[mm]	1000
Höhe des Querschnitts		h	[mm]	730
Elastisches Widerstandsmoment		W	[mm ³]	8.88E+07
Durchmesser Bewehrung		$\varnothing_s$	[mm]	14
Zulässige Stahlspannung		$\sigma_{s,adm}$	[N/mm ²]	435
Statische Höhe		d	[mm]	640
Hebelarm der inneren Kräfte	$z_s = 0.95d$	z_s	[mm]	608
Mindestbewehrung		$A_{s,erf}$	[mm²]	868
Wahl:		$\varnothing$	[mm]	14
		s	[mm]	150
		A_s	[mm ²]	1026

PROJEKT 34942

OBJEKT N13 Campus Steg

BAUTEIL Widerlagerwand Querrichtung

Mindestbewehrung nach SIA 262, 4.4.1.3

Zug beanspruchte Bauteile

Anforderung				erhöht
Kriterium			Begrenzung der Rissbreiten beim Erreichen von f_{ctd}	
Luftporen			gemäss 22 001-14210 Abs. 7 bei künstlichen Luftporen (NPK D / NPK G) ist der Überwiderstand um 2 Klassen zu erhöhen	
Betonsorte			C30/37	
Mittelwert der Betonzugfestigkeit		f_{ctm}	[N/mm ²]	2.9
Abmessung des Zuggurts	$t = h$	t	[m]	0.50
Abminderungsfaktor	$k_t = \frac{1}{1 + 0.5t}$	k_t	[-]	0.80
Betonzugfestigkeit	$f_{ctd} = k_t f_{ctm}$	f_{ctd}	[N/mm ²]	2.3
Breite des Querschnitts		b	[mm]	1000
Höhe des Querschnitts		h	[mm]	730
Durchmesser Bewehrung		$\emptyset_s$	[mm]	16
Zulässige Stahlspannung		$\sigma_{s,adm}$	[N/mm ²]	409
Betonfläche		A_c	[mm ²]	500000
Mindestbewehrung	total	$A_{s,erf}$	[mm ²]	2837
	pro Lage	$A_{s,erf}$	[mm ²]	1418
Wahl:				
		$\emptyset$	[mm]	16
		s	[mm]	125
		A_s	[mm ²]	1608

$t_{max} = 0.5m$
gem. ASTRA FHB K, TMB 22 001-14210

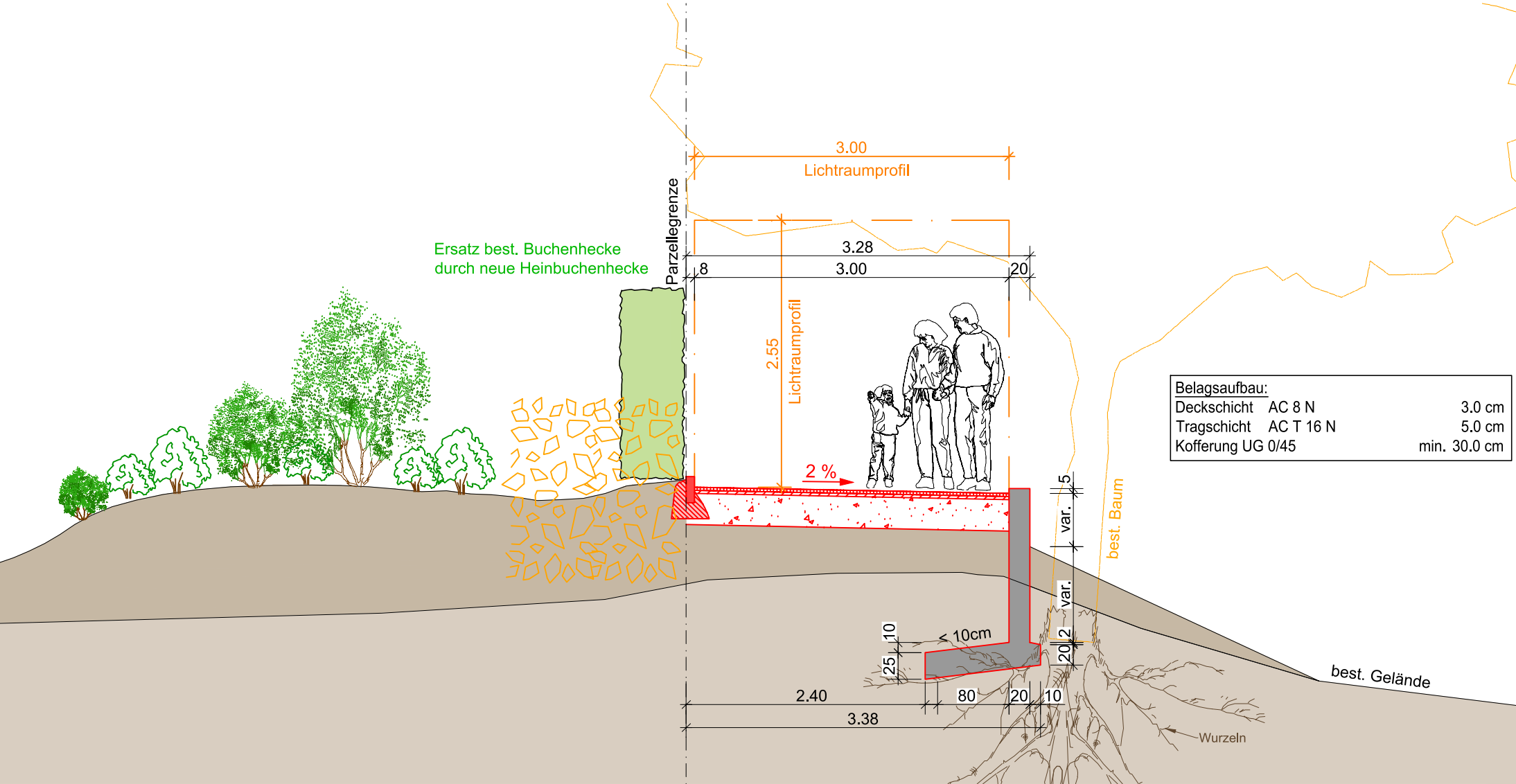
SIA 262 (99)

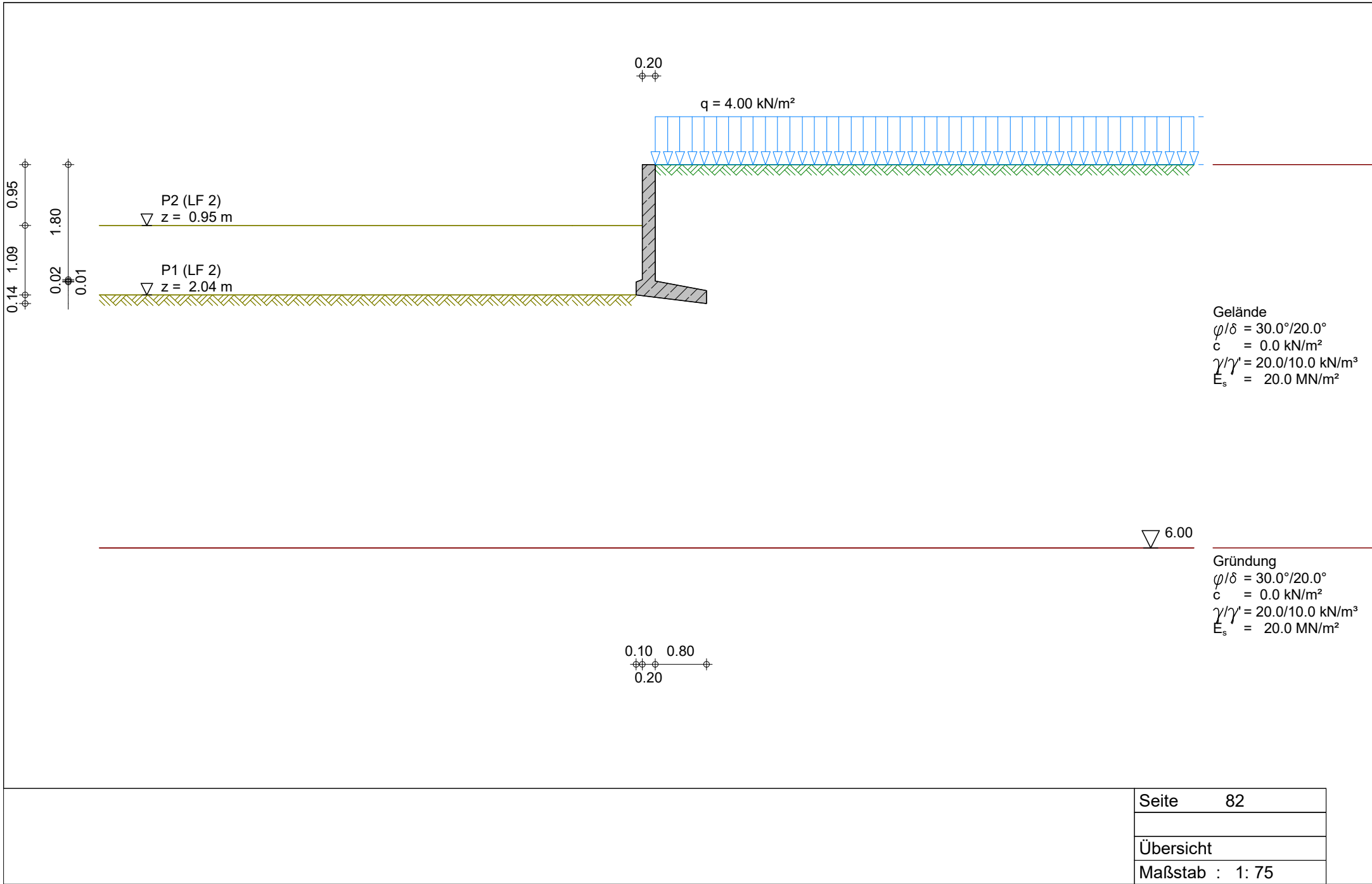
SIA 262 (98)

SIA 262-C1:2017

6. Nachweise Stützmauer

Schnitt Stützmauer für Bemessung





Programm DC-Winkel *** Copyright 2004-2025 DC-Software Doster & Christmann GmbH, D-81245 München ***

Eingabedatei: N:\34942 mue Campussteg Wattwil\30 Bauprojekt Auflageprojekt\04 Statik\Stützmauer Gehweg.dbm

Berechnung einer Winkelstützmauer nach SIA 267

Berechnung nach GZ Typ 2

Systemwerte

Wandkopf: frei beweglich

Erddruckart: aktiver Erddruck

Bodenart: nicht bindiger Boden

Erddruckbeiwerte nach SIA 261

Mindesterddruckbeiwert: 0.20

Wandgeometrie

Wandhöhe 1.80 m

Wanddicke 0.20 m

Breite Fundament luftseitig 0.10 m

Dicke Fundament luftseitig 0.20 m mit Schräge 0.05 m

Breite Fundament erdseitig 0.80 m

Dicke Fundament erdseitig 0.20 m mit Schräge 0.05 m

Schichtdaten

		Gelände	Gründung
Schichthöhe Δh	[m]	6.00	94.00
Innere Reibung φ'	[°]	30.00	30.00
Wandreibung aktiv δ_a	[°]	20.00	20.00
Wandreibung passiv δ_p	[°]	-15.00	-15.00
Kohäsion c_a'	[kN/m²]	0.00	0.00
Wichte Boden γ	[kN/m³]	20.00	20.00
Wichte unter Auftrieb γ'	[kN/m³]	10.00	10.00
Steifemodul E_s	[MN/m²]	20.00	20.00

Erddruckbeiwerte

Erddruckbeiwert K_{agh}	(aktiv)	0.279	0.279
Erdwiderstandsbeiwert K_{pgh}	(passiv)	4.807	4.807

Erddruckbeiwerte mit Wandneigung α

		Gelände	Gelände	Gelände	Gelände
Abschnittshöhe Δh	[m]	1.80	0.27	0.10	3.83
Wandneigung α_A	[°]	0.00	0.00	0.00	0.00
Wandneigung α_p	[°]	0.00	0.00	0.00	0.00
Erddruckbeiwert K_{agh}	(aktiv)	0.279	0.279	0.279	0.279
Erdwiderstandsbeiwert K_{pgh}	(passiv)	4.807	4.807	4.807	4.807

Erddruckbeiwerte mit Wandneigung α

		Gründung
Abschnittshöhe Δh	[m]	94.00
Wandneigung α_A	[°]	0.00
Wandneigung α_p	[°]	0.00
Erddruckbeiwert K_{agh}	(aktiv)	0.279
Erdwiderstandsbeiwert K_{pgh}	(passiv)	4.807

Wand- und Auflasten

Alle Lasten und Schnittkräfte beziehen sich auf 1 m Wandbreite

Streckenlasten auf das Gelände (g = ständige, p = veränderliche Last)

Lastfall	q [kN/m ²]	x _A [m]	x _E [m]	Tiefe [m]	Typ	γ	ψ
VK p	4.00	0.00	999.00	0.00	-	1.500	1.000

Teilsicherheitsbeiwerte für GZ Typ 1

γ -	G, stb	G, dst	Q, dst	H
	0.900	1.100	1.500	1.600

Teilsicherheitsbeiwerte für GZ Typ 2

γ -	G	E0g	W	L	E0l	Q	Qv	Ep	Wg	φ*	c*	R, h	R, v
	1.350	1.350	1.200	1.350	1.350	1.500	1.450	1.400	0.900	1.200	1.500	1.000	1.000

Teilsicherheitsbeiwerte für GZ Typ 3

γ -	G	E0g	W	L	E0l	Q	Qv	Ep	Wg	φ	c	R, h
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.300	1.250	1.000	0.900	1.200	1.500	1.000

γ -	Teilsicherheitsbeiwert für ...
H	Strömungsdruck
G, stb	günstige ständige Einwirkungen
G, dst	ungünstige ständige Einwirkungen
Q, dst	ungünstige veränderliche Einwirkungen
G	Erddruck aus Bodeneigengewicht (außer Ruhedruck)
E0g	Erdruhedruck aus Bodeneigengewicht
W	ungünstig wirkenden Wasserdruck
L	ständige Lasten (außer aus Ruhedruck)
E0l	Erdruhedruck aus ständigen Lasten
Q	Einwirkungen aus Verkehrslasten
Qv	Einwirkungen aus Bahnverkehrslasten
Ep	Erdwiderstand
Wg	günstig wirkenden Wasserdruck
φ	Reibungsbeiwert tan φ
c	Kohäsion c
R, h	Gleitwiderstand
R, v	Grundbruchwiderstand

* nur für Grundbruch

Lastfall VK

Erd- und Wasserdrücke nach GZ Typ 2 (mit Sicherheiten)

Erddruckverlauf für Wandbelastung ab Wandkopf

Tiefe z	e _h -Summe	e _h -Boden+Großfl.	e _h -Begr.Auflast
[m]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]
0.00	1.676	1.676	0.000
1.80	15.254	15.254	0.000

Erddruckverlauf für Standsicherheitsuntersuchung ab GOK = 0.00 m

Tiefe z	e _h -Summe	e _h -Boden+Großfl.	e _h -Begr.Auflast
[m]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]
0.00	1.676	1.676	0.000
0.33	4.176	4.176	0.000
0.33	4.952	4.952	0.000
1.80	18.090	18.090	0.000
1.80	15.254	15.254	0.000
2.07	17.325	17.325	0.000

(berechnet für Ersatzwand unter ϑ_a' ab z = 0.33 m, mit $\delta_a = \varphi$)

Phase P1

Bauphase: Tiefe = 0.00 m über FUK
 Erddruckumlagerung in ein Rechteck

Erddruckverlauf nach Umlagerung

Tiefe z	Summe E _v	e _h -Summe	e _h -Boden+Großfl.	e _h -Begr.Auflast
[m]	[kN/m]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m²]
0.000	0.000	8.465	8.465	0.000
1.800	5.546	8.465	8.465	0.000

Auflasten aus Wandbestandteilen (je m Wand)

Eigengewicht der Wand: 10.32 kN
 Eigengewicht Fundament Luftseite: 0.57 kN, Hebelarm zur Fundament-Schwerachse: 0.50 m
 Eigengewicht Fundament Erdseite: 4.53 kN, Hebelarm zur Fundament-Schwerachse: 0.14 m
 Auflasten auf Fundament Erdseite: 11.95 kN, Hebelarm zur Fundament-Schwerachse: 0.02 m

Belastung und Schnittgrößen der Wand (nach GZ Typ 2, Verformungen charakteristisch)

Alle Werte je m Wand, bezogen auf die Schwerachse
 (Verformungen einschließlich Neigung aus Setzungen)

Tiefe z	H-Druck	Verformung	Moment	Querkraft
[m]	h _d [kN/m]	w [mm]	M _d [kNm]	V _d [kN]
0.000	8.47	15.0	0.00	0.00
1.800	8.47	2.1	-13.16	-15.24

Phase P1	max. M	0.00	zug. V	0.00	max. V	0.00	zug. M	0.00
	min. M	-13.16	zug. V	-15.24	min. V	-15.24	zug. M	-13.16
	max. w	15.0 mm						

Längsbelastung der Wand

Tiefe z	Längsbel.	Normalkraft
[m]	n _d [kN/m]	N _d [kN]
0.000	9.83	0.00
1.800	9.83	-17.70

Schnittgrößen in der Sohlfuge
(berechnet mit Erddruck für Standsicherheitsuntersuchung)

$N_d = -66.01 \text{ kN}$, $V_d = -13.95 \text{ kN}$, $M_d = -15.38 \text{ kNm}$
Ausmitte $e_d = 0.23 \text{ m}$

Bodenpressung unter der Sohle

$\sigma_{1d} = 137.019 \text{ kN/m}^2$, $\sigma_{2d} = 0.000 \text{ kN/m}^2$, Breite der Druckzone: 0.96 m
Sohnormalspannung $\sigma_{0r,d} = 102.764 \text{ kN/m}^2$

Bodenpressung unter der Sohle für Wandbemessung
 $\sigma_{1d} = 146.083 \text{ kN/m}^2$, $\sigma_{2d} = 0.000 \text{ kN/m}^2$, Breite der Druckzone: 1.01 m

Nachweis gegen Kippen im GZ Typ 1

Nachweis für ständige Lasten:
Schnittgrößen in der Sohlfuge
 $N_d = -48.67 \text{ kN}$, $M_d = -10.58 \text{ kNm}$
Sohldruckkraft im Kern: $e_d = 0.22 \text{ m} \leq 0.333 \cdot b = 0.37 \text{ m}$ ***** Nachweis erfüllt *****
Ausnutzungsgrad: 0.59

Nachweis für Gesamtlasten:
Schnittgrößen in der Sohlfuge
 $N_d = -53.79 \text{ kN}$, $M_d = -14.05 \text{ kNm}$
Klaffende Fuge: $e_d = 0.26 \text{ m} \leq 0.333 \cdot b = 0.37 \text{ m}$ ***** Nachweis erfüllt *****
Ausnutzungsgrad: 0.71

Nachweis der Gleitsicherheit im GZ Typ 2

	Charakteristisch	Bemessungswerte
Belastung T	= 10.12 kN	13.95 kN
Erdwiderstand E_p	= 0.00 kN	0.00 kN
Belastung V	= 48.53 kN	
Reibungswinkel Sohle δ	= 20.00 °	16.87 °
Kohäsion c	= 0.00 kN/m²	
Gleitwiderstand R_t	= 17.66 kN	14.72 kN
Nachweis: $T_d / (R_{t,d} + E_{p,d})$	= 0.95 < 1.0	*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Gleitsicherheit in der waagerechten Ersatzgleitfuge

	Charakteristisch	Bemessungswerte
Belastung T	= 15.96 kN	21.89 kN
Erdwiderstand E_p	= 0.88 kN	0.63 kN
Belastung V	= 48.42 kN	
Reibungswinkel Sohle δ	= 30.00 °	25.69 °
Gleitwiderstand R_t	= 27.96 kN	23.30 kN
Nachweis: $T_d / (R_{t,d} + E_{p,d})$	= 0.91 < 1.0	*** Nachweis erfüllt ***

Setzungsberechnung im GZ Gebrauchstauglichkeit
bezogen auf die Bodenpressungen an den kennzeichnenden Punkten:

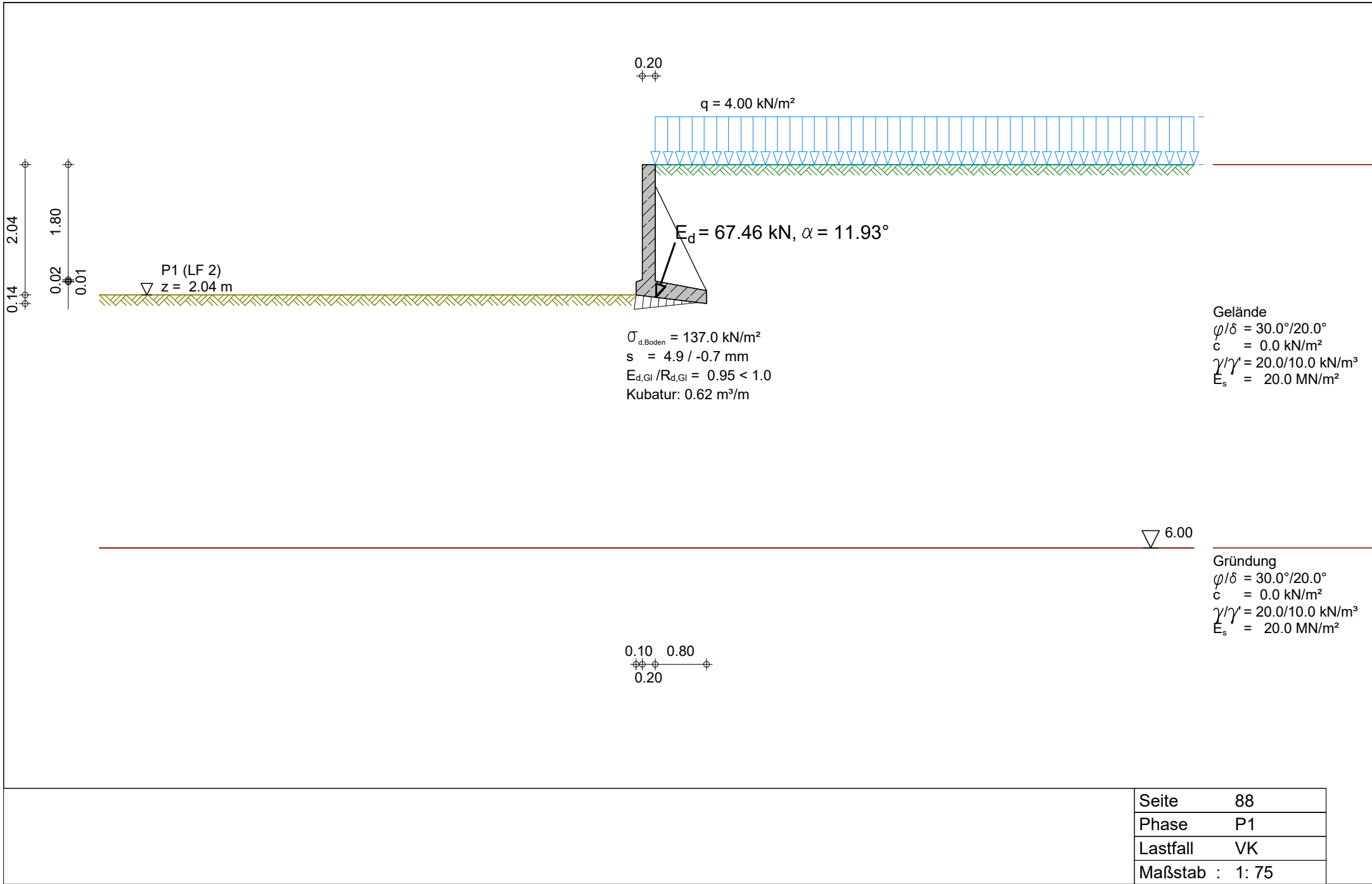
Setzung am Fundamentrand Luftseite: 4.9 mm
Setzung am Fundamentrand Erdseite: -0.7 mm (Hebung)

Seite	87
Phase	P1
Lastfall	VK

Wandkubatur

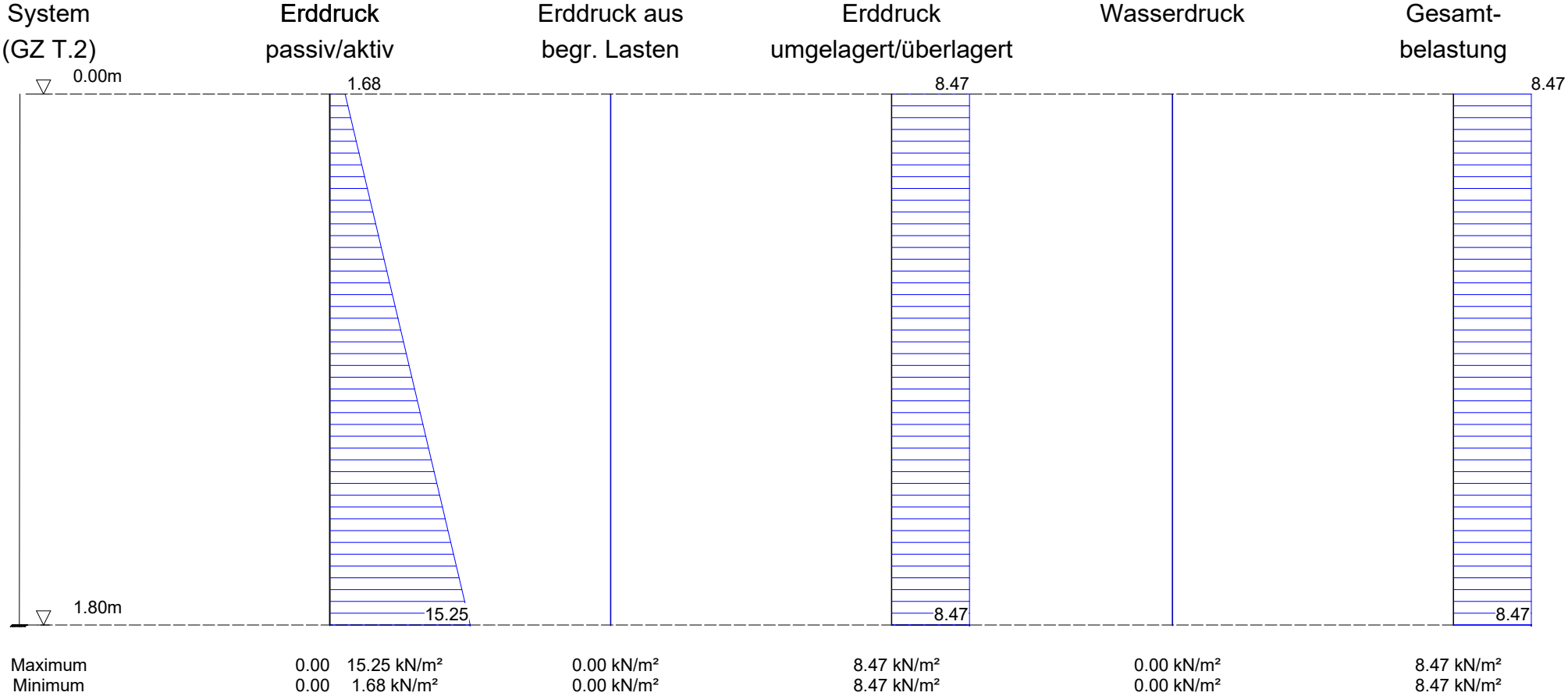
Kubatur Fundament: 0.26 m³/m
Kubatur Wand: 0.36 m³/m

Kubatur gesamt: 0.62 m³/m



Seite	88
Phase	P1
Lastfall	VK
Maßstab :	1: 75

Erddruck auf die Wand (Bem.) (GZ Typ 2)



Erddruck für Standsicherheit (Bem.) (GZ Typ 2)

System
(GZ T.2)

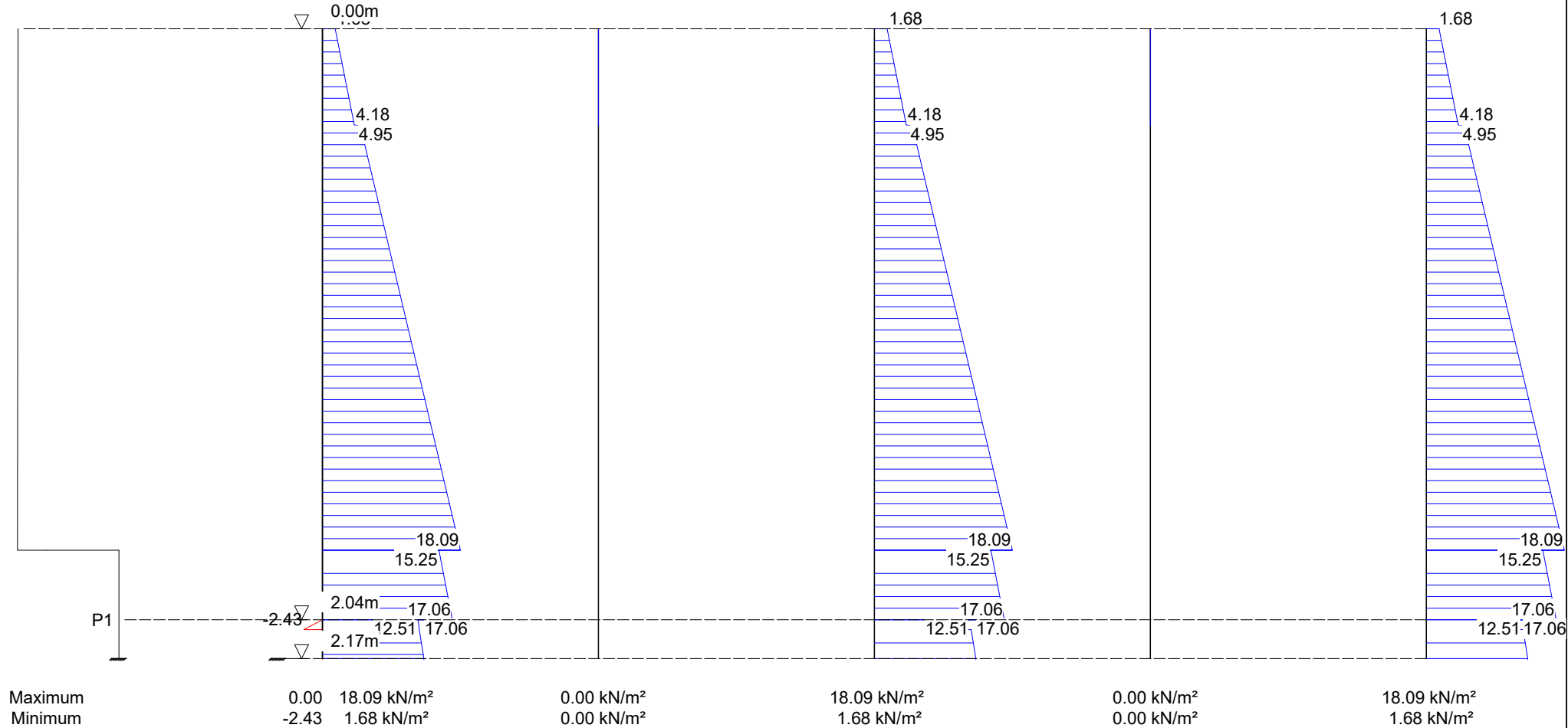
Erddruck
passiv/aktiv

Erddruck aus
begr. Lasten

Erddruck
umgelagert/überlagert

Wasserdruck

Gesamt-
belastung



Seite	90
Phase	P1
Lastfall	VK
Maßstab	: 1: 20

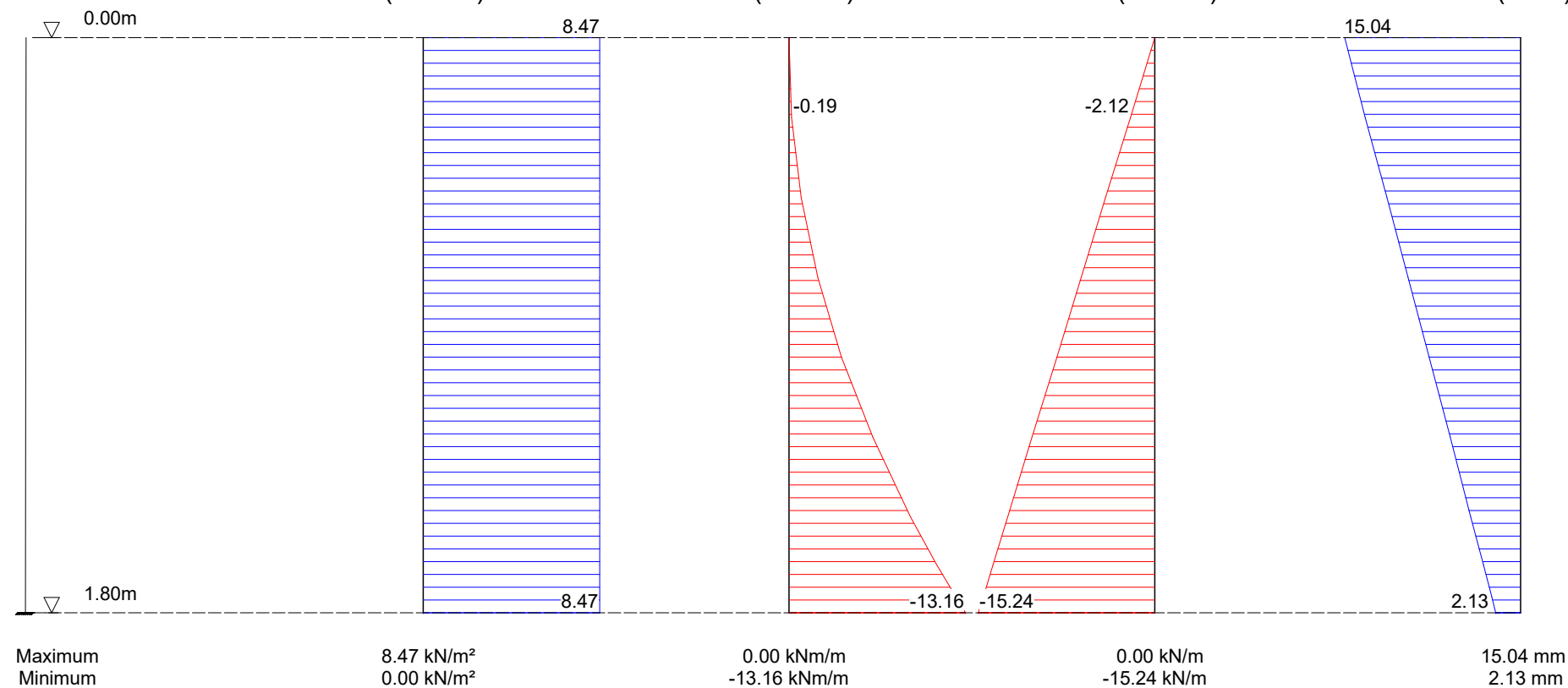
System

Belastung
h (GZ T.2)

Biegemoment
M (GZ T.2)

Querkraft
V (GZ T.2)

Verformung
w (GZG)



Seite	91
Phase	P1
Lastfall	VK
Maßstab	: 1: 20

Phase P2

Bauphase: Tiefe = 1.09 m über FUK
Erddruckumlagerung in ein Rechteck

Passiver Erddruck für Wandbemessung

Tiefe z [m]	$e_{ph,d}$ [kN/m ²]
0.000	0.000
0.952	0.000
1.800	-58.217
Summe E_{ph} =	-24.678 kN/m

Passiver Erddruck für Standsicherheit

Tiefe z [m]	$e_{ph,d}$ [kN/m ²]
0.000	0.000
0.952	0.000
1.800	-58.217
2.075	-77.071
Summe E_{ph} =	-43.250 kN/m

Erddruckverlauf nach Umlagerung

Tiefe z [m]	Summe E_v [kN/m]	e_n -Summe [kN/m ²]	e_n -Boden+Großfl. [kN/m ²]	e_n -Begr.Auflast [kN/m ²]
0.000	0.000	5.268	5.268	0.000
0.952	1.826	5.268	5.268	0.000
0.952	1.826	0.000	0.000	0.000
1.800	1.826	-58.217	-58.217	0.000

Auflasten aus Wandbestandteilen (je m Wand)

Eigengewicht der Wand:	10.32 kN
Eigengewicht Fundament Luftseite:	0.57 kN, Hebelarm zur Fundament-Schwerachse: 0.50 m
Auflasten auf Fundament Luftseite:	1.73 kN, Hebelarm zur Fundament-Schwerachse: 0.50 m
Eigengewicht Fundament Erdseite:	4.53 kN, Hebelarm zur Fundament-Schwerachse: 0.14 m
Auflasten auf Fundament Erdseite:	11.95 kN, Hebelarm zur Fundament-Schwerachse: 0.02 m

Belastung und Schnittgrößen der Wand (nach GZ Typ 2, Verformungen charakteristisch)

Alle Werte je m Wand, bezogen auf die Schwerachse
(Verformungen einschließlich Neigung aus Setzungen)

Tiefe z [m]	H-Druck h_d [kN/m]	Verformung w [mm]	Moment M_d [kNm]	Querkraft V_d [kN]
0.000	5.27	-0.7	0.00	0.00
0.952	5.27	-0.4	-2.21	-5.02
0.952	0.00			
1.800	-58.22	-0.1	1.18	19.66
Phase P2	max. M	1.18	zug. V	19.66
	min. M	-2.21	zug. V	-5.02
	max. w	0.7 mm		

Längsbelastung der Wand

Tiefe z [m]	Längsbel. n_d [kN/m]	Normalkraft N_d [kN]
0.000	8.67	0.00
0.952	8.67	-8.25
0.952	6.75	
1.800	-8.85	-7.36

Schnittgrößen in der Sohlfuge

(berechnet mit Erddruck für Standsicherheitsuntersuchung)

N_d = -46.30 kN, V_d = 29.65 kN, M_d = -0.67 kNm
Ausmitte e_d = 0.01 m

Bodenpressung unter der Sohle

$\sigma_{1d} = 45.030 \text{ kN/m}^2$, $\sigma_{2d} = 38.521 \text{ kN/m}^2$, Breite der Druckzone: 1.11 m
 Sohlnormalspannung $\sigma_{0r,d} = 42.889 \text{ kN/m}^2$

Bodenpressung unter der Sohle für Wandbemessung

$\sigma_{1d} = 0.000 \text{ kN/m}^2$, $\sigma_{2d} = 121.507 \text{ kN/m}^2$, Breite der Druckzone: 0.90 m

Nachweis gegen Kippen im GZ Typ 1

Nachweis für ständige Lasten:

Schnittgrößen in der Sohlfuge

$N_d = -22.96 \text{ kN}$, $M_d = 11.66 \text{ kNm}$

Klaffende Fuge ! $e_d = 0.51 \text{ m} > 0.333 \cdot b = 0.37 \text{ m}$

***** Nachweis Kippen rechnerisch nicht erfüllt *****
 (nicht maßgebend, da Kippen gegen das Gelände)

Ausnutzungsgrad: 1.38

Nachweis für Gesamtlasten:

Schnittgrößen in der Sohlfuge

$N_d = -29.11 \text{ kN}$, $M_d = 5.09 \text{ kNm}$

Sohldruckkraft im Kern: $e_d = 0.17 \text{ m} \leq 0.333 \cdot b = 0.37 \text{ m}$

***** Nachweis erfüllt *****

Ausnutzungsgrad: 0.47

Nachweis der Gleitsicherheit im GZ Typ 2

	Charakteristisch	Bemessungswerte
Belastung T	= 10.92 kN	11.14 kN
Erdwiderstand E_p	= 57.10 kN	40.79 kN
Belastung V	= 35.40 kN	
Reibungswinkel Sohle δ	= 20.00 °	16.87 °
Kohäsion c	= 0.00 kN/m ²	
Gleitwiderstand R_t	= 12.88 kN	10.74 kN
Nachweis: $T_d / (R_{t,d} + E_{p,d})$	= 0.22 < 1.0	*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Gleitsicherheit in der waagerechten Ersatzgleitfuge

	Charakteristisch	Bemessungswerte
Belastung T	= 15.23 kN	16.78 kN
Erdwiderstand E_p	= 71.79 kN	51.28 kN
Belastung V	= 39.80 kN	
Reibungswinkel Sohle δ	= 30.00 °	25.69 °
Gleitwiderstand R_t	= 22.98 kN	19.15 kN
Nachweis: $T_d / (R_{t,d} + E_{p,d})$	= 0.24 < 1.0	*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Grundbruchsicherheit im GZ Typ 2

	Charakteristisch	Bemessungswerte
Belastung		
Auflast P	= 383.16 kN	462.98 kN
Horizontallast H	= -216.16 kN	-296.51 kN
Moment M	= -18.17 kNm	6.66 kNm
Lasten bezogen auf die geneigte Sohle:		
Normalbelastung N	= 353.96 kN	
Querbelastung Q	= -261.24 kN	
Neigung der Resultierenden $\tan(\delta_s) = Q/N$	= -0.64	
Abmessungen		
Einbindetiefe d	= 1.09 m	
Ersatzbreite b'	= 1.07 m	
Ersatzbreite quer a'	= 10.00 m	

Ergebnisse					
Breite der Grundbruchfigur	=		1.07 m		
Tiefe der Grundbruchfigur	=		0.00 m		
Maßgebende Bodenkennwerte: γ oberhalb Gründungssohle	=	20.00 kN/m³		20.00 kN/m³	
γ unterhalb Gründungssohle	=	20.00 kN/m³		20.00 kN/m³	
Reibungswinkel φ	=	30.00 °		25.69 °	
Kohäsion c	=	0.00 kN/m²		0.00 kN/m²	
Tragfähigkeitsbeiwerte N_c, N_q, N_γ	=	21.77	11.47	9.07	
Lastneigungsbeiwerte i_c, i_q, i_γ	=	4.30	4.01	6.16	
Formbeiwerte s_c, s_q, s_γ	=	1.06	1.05	0.96	
Tiefenbeiwerte d_c, d_q, d_γ	=	1.32	1.25	1.00	
Sohlneigungsbeiwerte b_c, b_q, b_γ	=	0.95	0.89	0.85	
Grundbruchspannung p_d	=		1654.34 kN/m²		
Bemessungswert Grundbruchwiderstand R_d	=		17721.57 kN		
Bemessungswert Beanspruchung N_d	=		462.98 kN		
Nachweis: $N_d / R_d = 0.03 < 1.0$			*** Nachweis erfüllt ***		

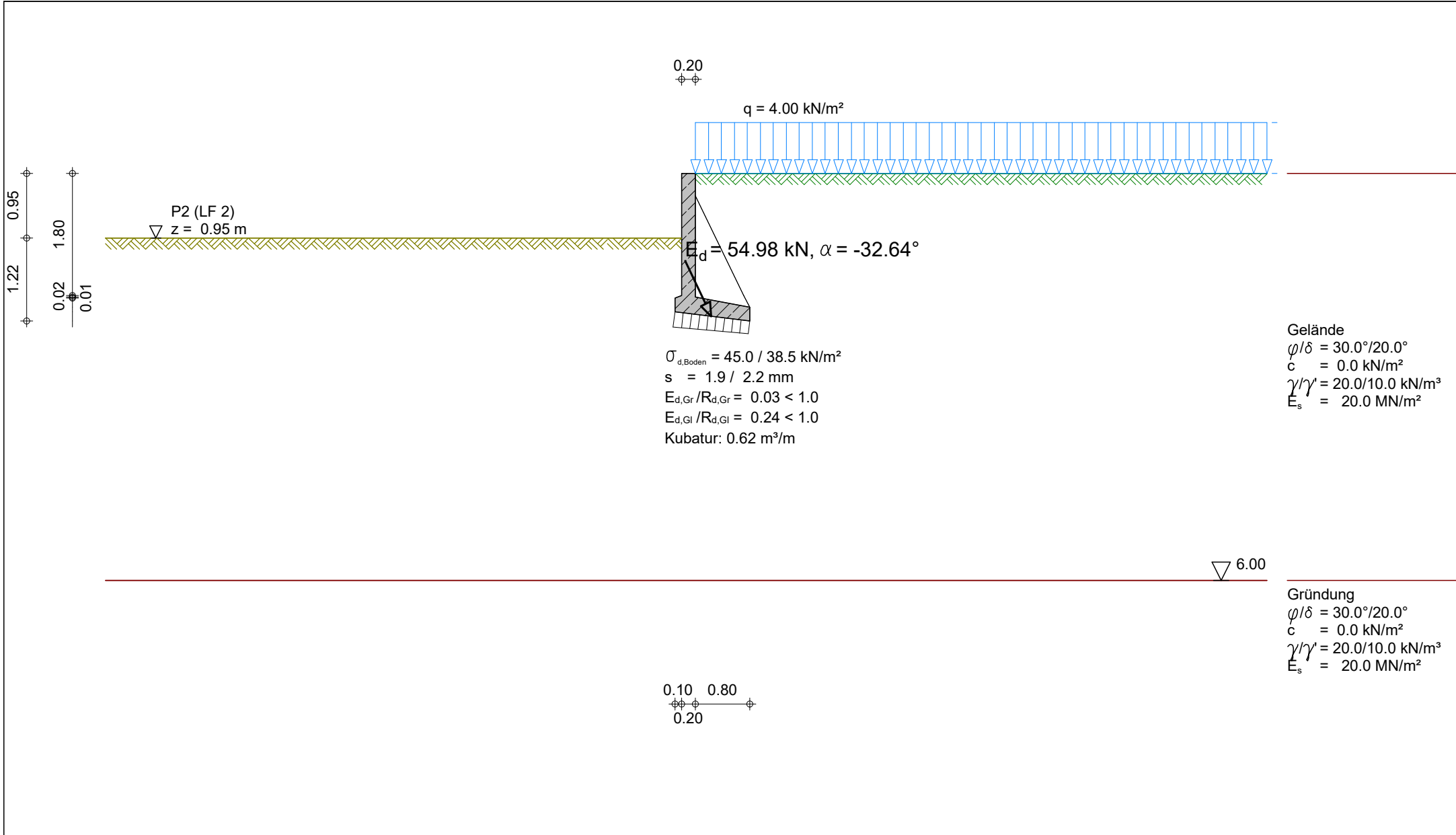
Warnung: Die Lastneigung ist größer als der Reibungswinkel oder entgegen dem Aushub.
Die Berechnungsformeln sind teilweise nicht anwendbar.

Setzungsberechnung im GZ Gebrauchstauglichkeit
bezogen auf die Bodenpressungen an den kennzeichnenden Punkten:

Setzung am Fundamentrand Luftseite:	1.9 mm
Setzung am Fundamentrand Erdseite:	2.2 mm

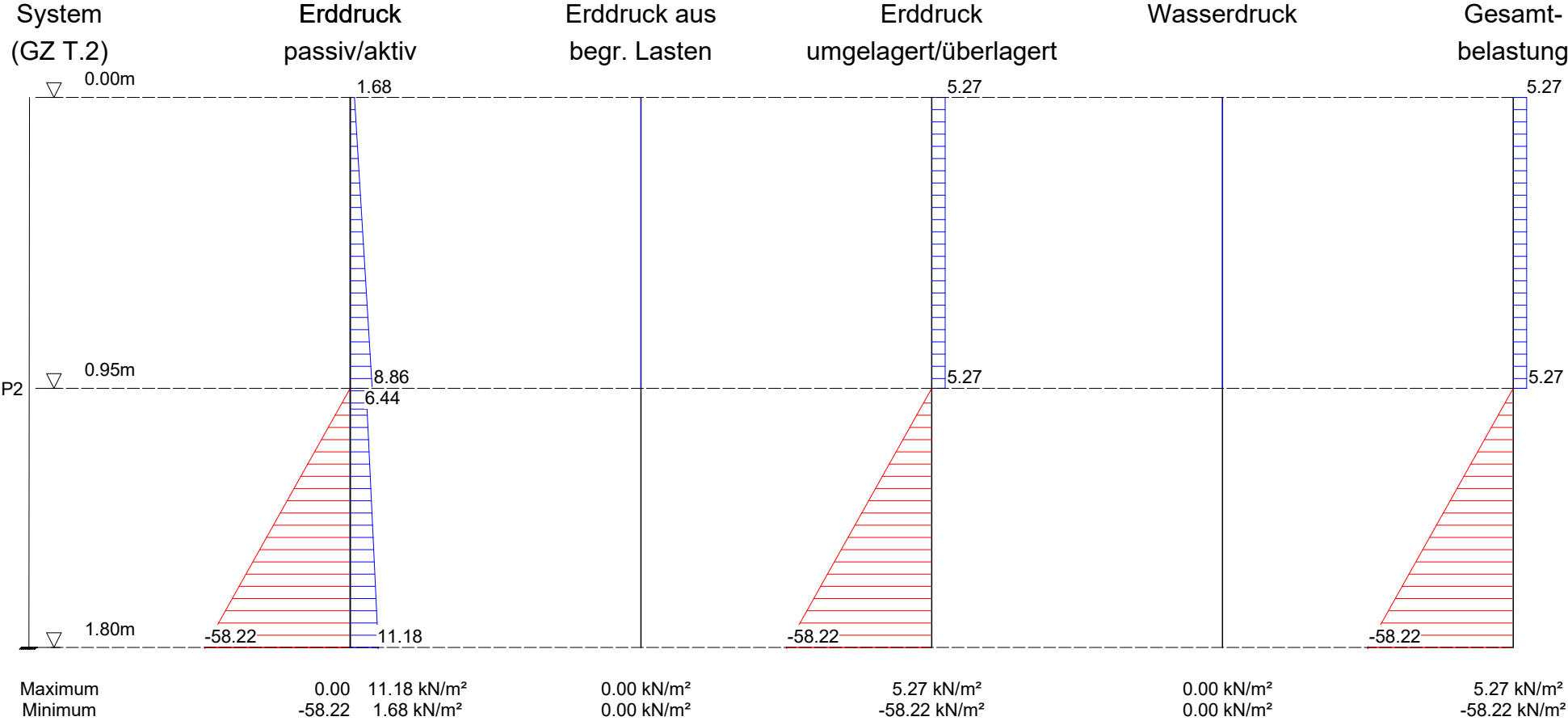
Wandkubatur

Kubatur Fundament:	0.26 m³/m
Kubatur Wand:	0.36 m³/m
Kubatur gesamt:	0.62 m³/m

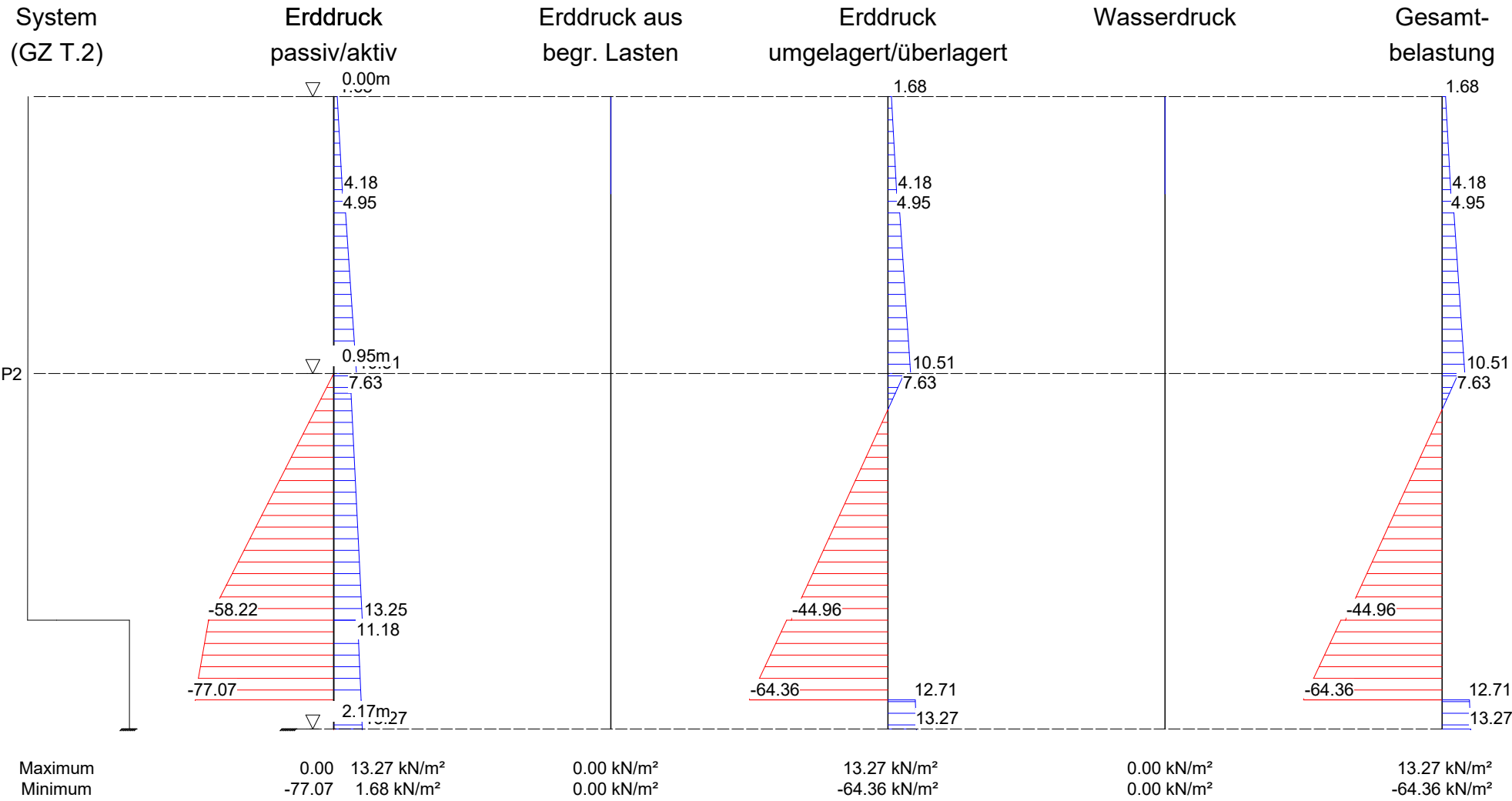


Seite	95
Phase	P2
Lastfall	VK
Maßstab :	1: 75

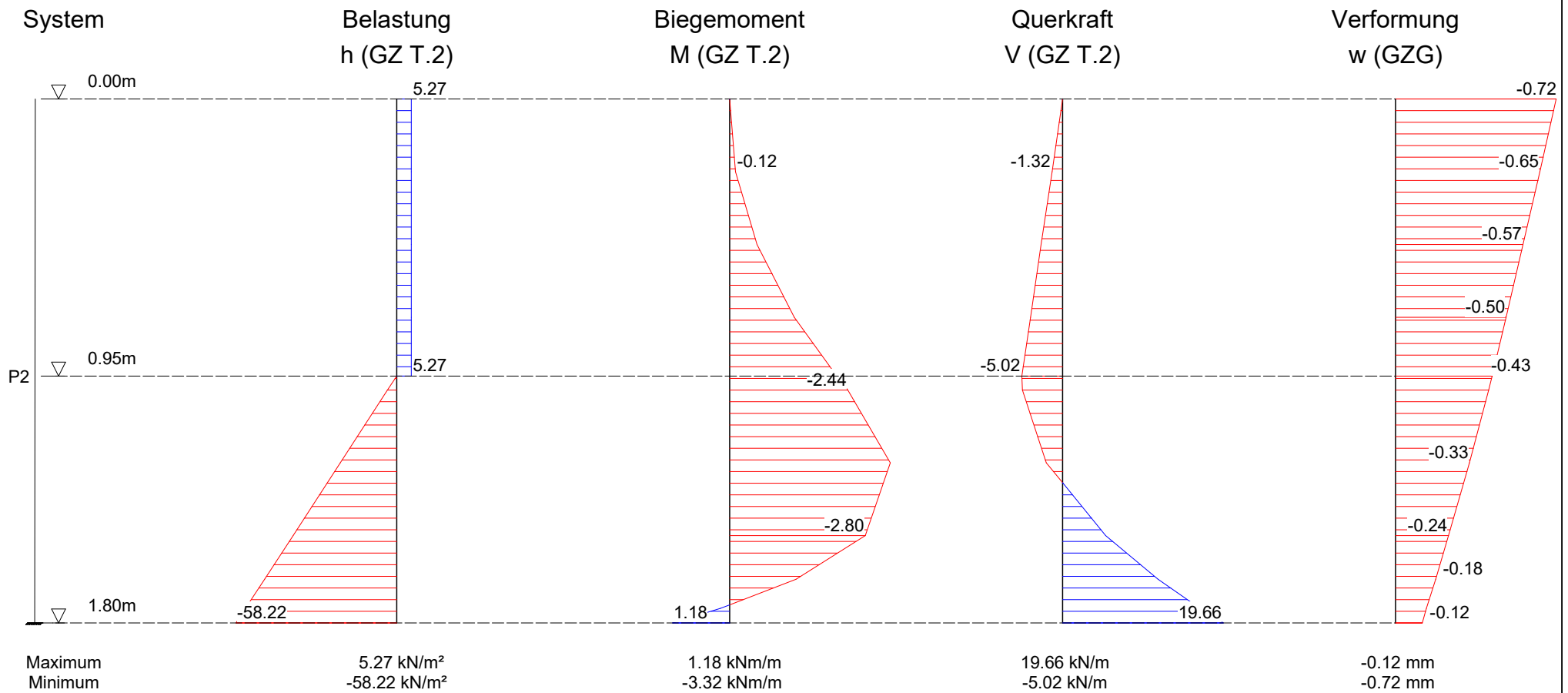
Erddruck auf die Wand (Bem.) (GZ Typ 2)



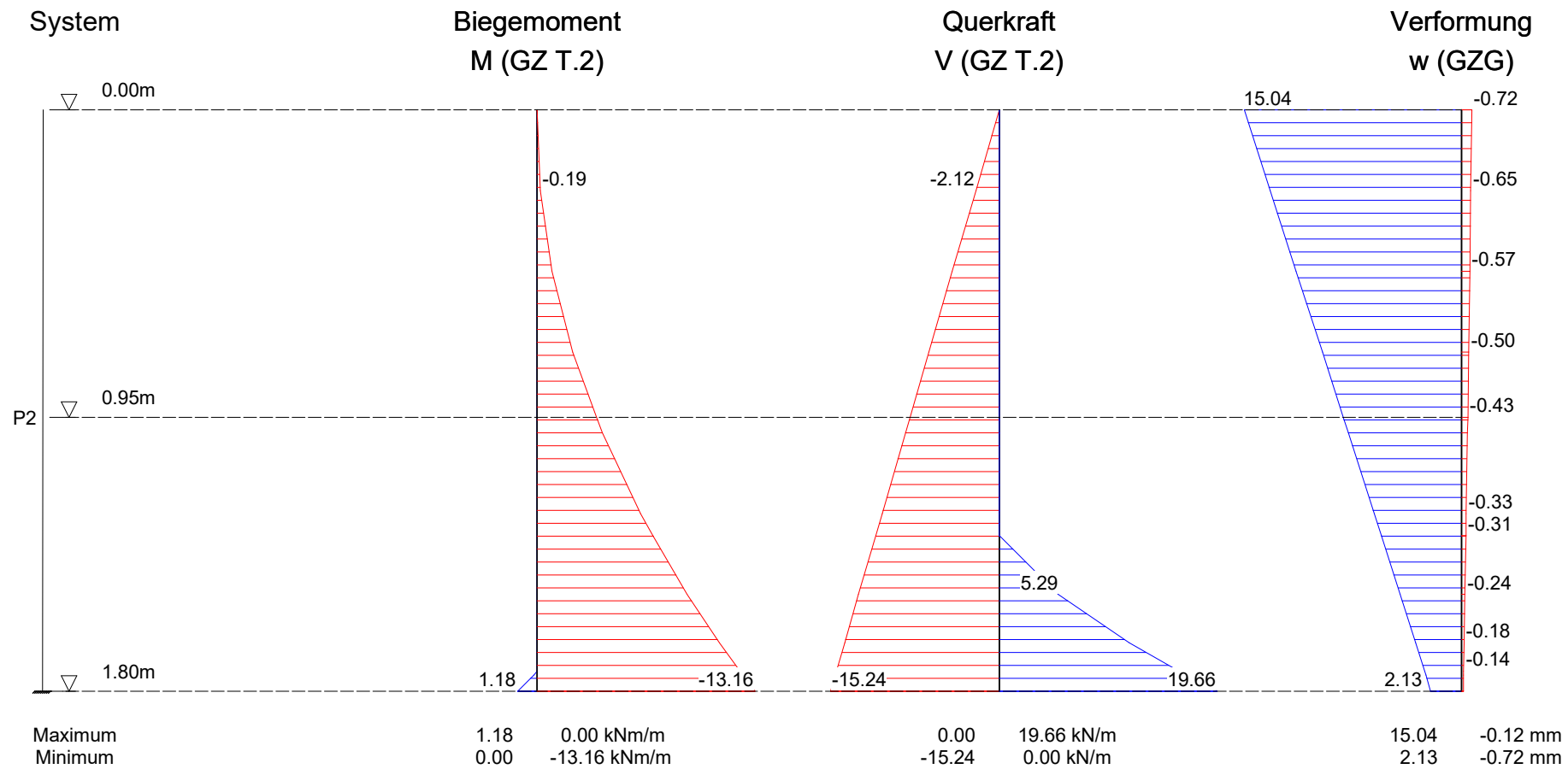
Erddruck für Standsicherheit (Bem.) (GZ Typ 2)



Seite	97
Phase	P2
Lastfall	VK
Maßstab	: 1: 20



Seite	98
Phase	P2
Lastfall	VK
Maßstab	: 1: 20



Stahlbetonbemessung nach SIA 262

Maßgebende Schnittgrößen (je lfm Wand):

Sicherheitsbeiwerte

für Lasten: γ_F nach GZ Typ 2

für Widerstände: $\gamma_R = 1.50$ (Beton), 1.15 (Stahl)

Bemessungsschnittgrößen

maßg. Moment	max. $M_d =$	3.23 kNm/m *
	zug. $N_d =$	-6.78 kN/m
	bei $z =$	1.80 m
maßg. Moment	min. $M_d =$	-13.16 kNm/m
	zug. $N_d =$	-17.70 kN/m
	bei $z =$	1.80 m
maßg. Querkraft (bis Abstand d)	max. $V_d =$	13.97 kN/m
	zug. $M_d =$	-11.02 kNm/m
	zug. $N_d =$	-16.22 kN/m
	bei $z =$	1.65 m

Materialwerte: Beton C20/25 Bewehrung: B500B

Randabstand Bewehrungsachse $d = 5.0$ cm

Maximale Bewehrung

bei max. M ($z = 1.80$ m): erf. A_s Luftseite = 6.00 cm²/m * (0.37)

bei min. M ($z = 1.80$ m): erf. A_s Erdseite = 6.00 cm²/m * (1.68)

bei max. V ($z = 1.65$ m): erf. Schubbewehrung $A_{SBü} = 0.00$ cm²/m²

(Druckstrebenneigung $\alpha = 30.0^\circ$, $v_{Rd} = 122.43$ kN/m, $v_{Rd,c} = 466.25$ kN/m)

(für Schubbemessung angesetzte Längsbewehrung: erf. A_s im Schnitt)

Abschnittsweise Bemessung der Wand

Tiefe [m]	Moment M_d [kNm/m]	Normalkraft N_d [kN/m]	Querkraft V_d [kN/m]	Biegebewehrung $A_{s,L}/A_{s,E}$ [cm ² /m]	Schubbewehrung [cm ² /m ²]
0.00	0.00 / 0.00	0.00 / 0.00	0.00	(0.00) 2.10* / 2.10* (0.00)	0.00
0.25	-0.19 / -0.19	-2.46 / -2.46	2.12	(0.00) 4.50* / 4.50* (0.00)	0.00
0.50	-0.90 / -0.90	-4.92 / -4.92	4.23	(0.00) 6.00* / 6.00* (0.06)	0.00
0.75	-2.15 / -2.15	-7.37 / -7.37	6.35	(0.00) 6.00* / 6.00* (0.20)	0.00
1.00	-3.92 / -3.92	-9.83 / -9.83	8.47	(0.00) 6.00* / 6.00* (0.42)	0.00
1.25	-6.23 / -6.23	-12.29 / -12.29	10.58	(0.00) 6.00* / 6.00* (0.72)	0.00
1.50	-9.06 / -9.06	-14.75 / -14.75	12.70	(0.00) 6.00* / 6.00* (1.10)	0.00
1.65	-11.02 / -11.02	-16.22 / -16.22	13.97	(0.00) 6.00* / 6.00* (1.37)	0.00
1.75	-12.42 / -12.42	-17.20 / -17.20		(0.21) 6.00* / 6.00* (1.57)	
1.80	-13.16 / -13.16	-17.70 / -17.70		(0.37) 6.00* / 6.00* (1.68)	

Bemessung Fundament Luftseite

maßg. Moment $M_d = 0.52$ kNm/m, Normalkraft $N_d = -1.19$ kN/m, Querkraft $V_d = 0.00$ kN/m

erf. $A_{so} = 7.56$ cm²/m * (0.02) (am Anschnitt)

erf. $A_{su} = 7.56$ cm²/m * (0.04) (am Anschnitt)

erf. Schubbewehrung $A_{SBü} = 0.00$ cm²/m² (am Anschnitt)

(Druckstrebenneigung $\alpha = -$, $v_{Rd} = -$, $v_{Rd,c} = -$)

(für Schubbemessung angesetzte Längsbewehrung: erf. A_s im Schnitt)

Bemessung Fundament Erdseite (keine direkte Lagerung)

maßg. Moment $M_d = -11.99$ kNm/m, Normalkraft $N_d = 3.12$ kN/m, Querkraft $V_d = 20.79$ kN/m

erf. $A_{so} = 7.56$ cm²/m * (1.32) (am Anschnitt)

erf. $A_{su} = 7.56$ cm²/m * (0.61) (am Anschnitt)

erf. Schubbewehrung $A_{SBü} = 0.00$ cm²/m² (Abstand 0.30 m vom Anschnitt)

(Druckstrebenneigung $\alpha = 33.9^\circ$, $v_{Rd} = 180.56$ kN/m, $v_{Rd,c} = 679.81$ kN/m)

(für Schubbemessung angesetzte Längsbewehrung: erf. A_s im Schnitt)

* = Mindestbewehrung maßgebend
(Werte in Klammern: statisch erforderliche Bewehrung ohne Mindestbewehrung)

Zusammenfassung

Alle Nachweise sind erfüllt.

7. Anhänge

Kritische Beulwerte / Beulanalyse

Elastic Buckling of Plates**CALCULATION SHEET**

Firm :
Username :
Contract :
Contract item :
Note :
Date : 05.05.2025

Contract :

Contract item :

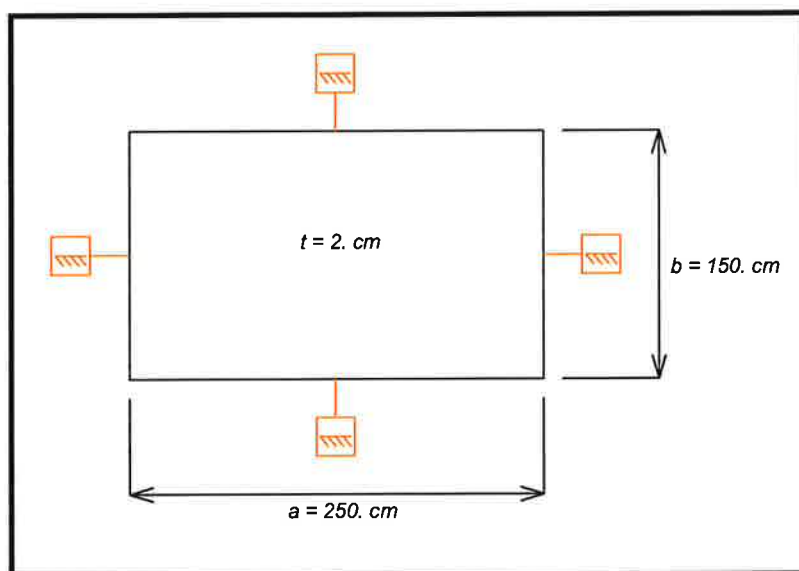
Note :

PLATE'S CHARACTERISTICS**Dimensions :**

Width $a = 2.50 \text{ m}$
Height $b = 1.50 \text{ m}$
Thickness $t = 20.0 \text{ mm}$

Material characteristics :

Young's Modulus $= 210000. \text{ MPa}$
Poisson's Ratio $= 0.30$

*Figure 1 : Plate's dimensions and boundaries conditions***Boundaries conditions :**

Side	Free	Clamped	Elastic restraints
Top		X	
Left		X	
Bottom		X	
Right		X	

Contract :

Contract item :

Note :

STIFFENING CONDITIONS**Isotropy / Orthotropy :**

The plate is orthotropic.

Reference flexural plate rigidity : $D = 153846.15 \text{ N.m}$

Orthotropic coefficients :

Changes of flexural plate rigidity

in x direction : $\beta_x = 0.00$ ($D_x = D (1 + \beta_x)$)
 $\eta_x = 0.00$ ($A_x = A (1 + \eta_x)$)

in y direction : $\beta_y = 0.00$ ($D_y = D (1 + \beta_y)$)
 $\eta_y = 0.00$ ($A_y = A (1 + \eta_y)$)

Stiffeners :

The plate is stiffened by 1 stiffener.

			Parameters			Type	Dimensions			
I	O	XY (cm)	δ	γ	θ		d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	d4 (mm)
1	H	x = 75.0	0.1609	91.4	38.51	T 4	225.	312.	133.	8.

I : Indice O : Orientation XY : Location
H : Horizontal V : Vertical
T 1 : General Shape T 2 : Angle T 3 : Tee
T 4 : Trapezoidal section T 5 : Single sided flat bar T 6 : Double sided flat bar

Note :

The flexural inertia of the predefined type stiffeners is calculated taking into account an effective width of the plate. This width is equal to 10 times the thickness of the plate on each side of the connections of the stiffener.

I	L_w (mm)	z_w (mm)
1	712.0	36.4

L_w : Total width of the plate taken into account for the calculation of the flexural rigidity
 z_w : Location of the neutral axis about the medium line of the plate

Contract :

Contract item :

Note :

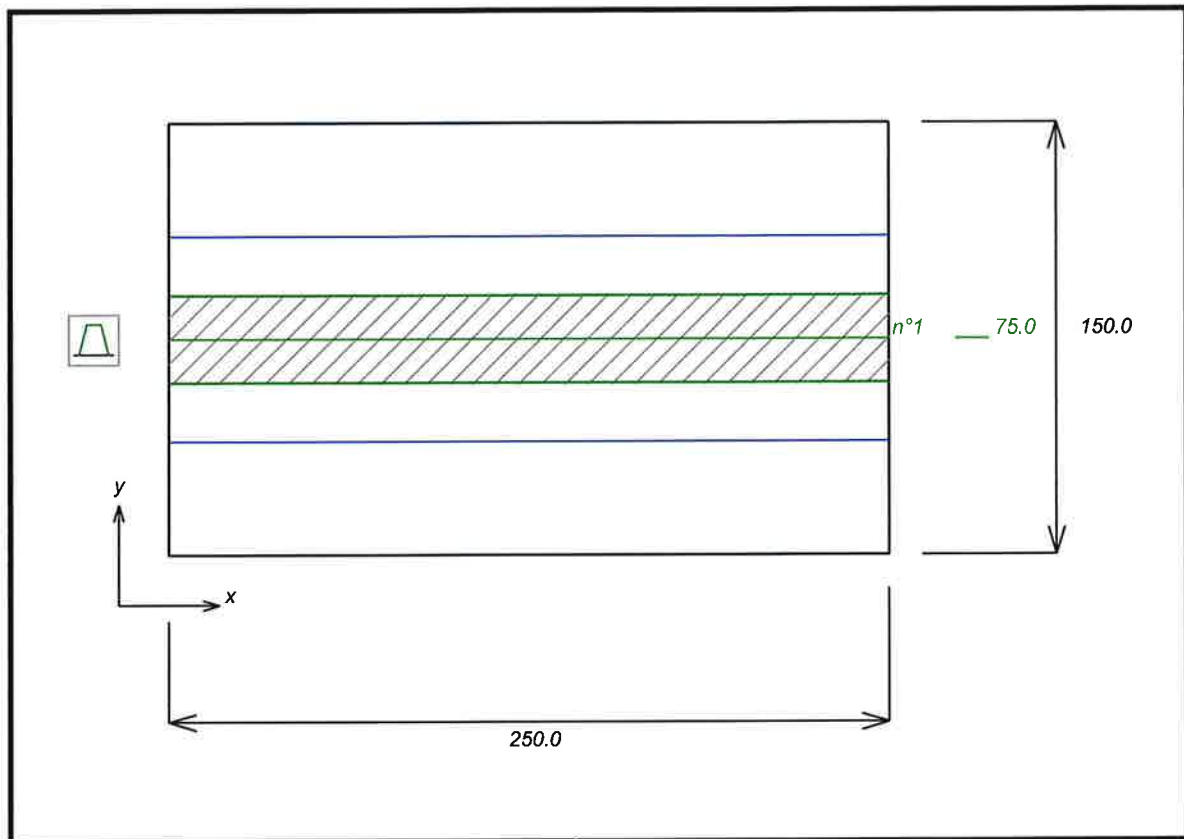
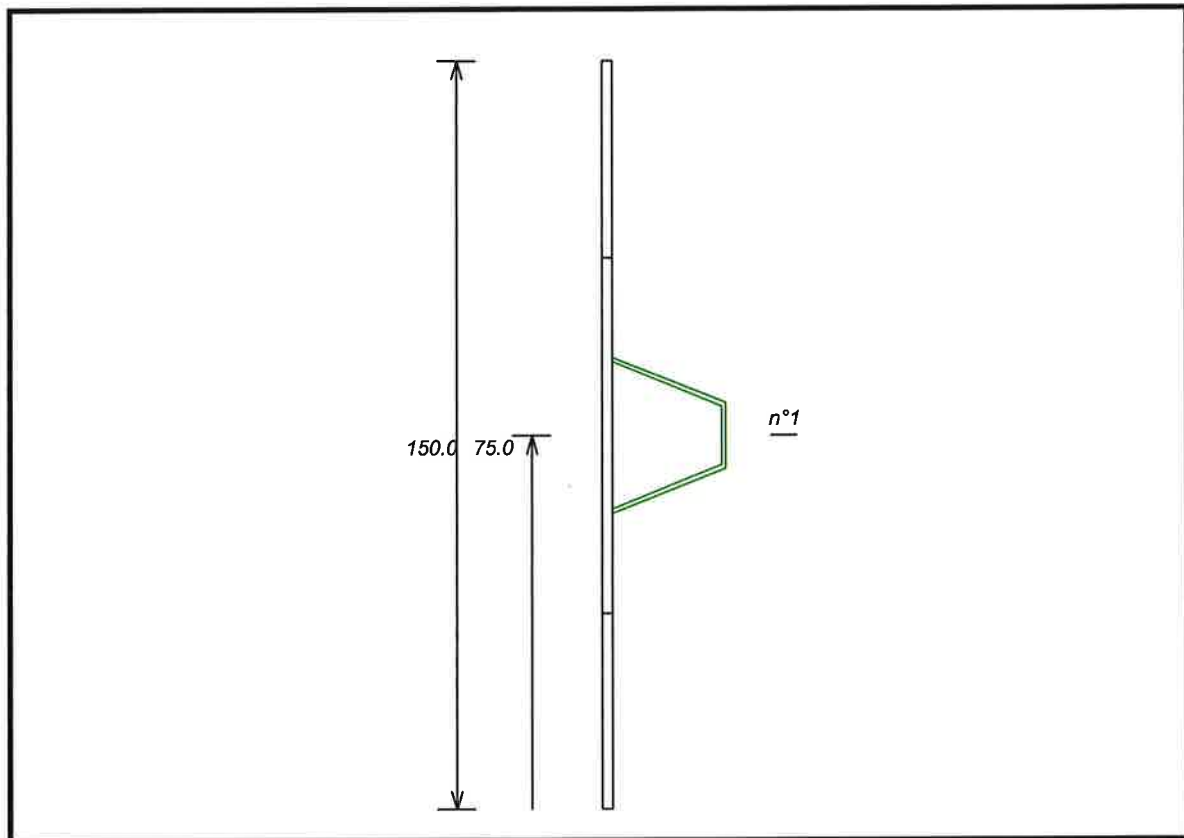


Figure 2 : Stiffeners

Contract :

Contract item :

Note :

*Figure 3 : Plate section with longitudinal stiffeners*

STRESSES

Analytical stresses :

Analytical stresses will be calculated from this data.

Longitudinal stresses :

$$\begin{aligned}\sigma_{xt} &= 248.0 \text{ MPa} \\ \sigma_{xb} &= 248.0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Transversal stresses :

$$\begin{aligned}\sigma_{yt} &= 0.0 \text{ MPa} \\ \sigma_{yb} &= 0.0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Patch Loading stresses :

$$\begin{aligned}\sigma_{ypt} &= 0.0 \text{ MPa} & c_t &= 0.0 \text{ mm} \\ \sigma_{ypb} &= 0.0 \text{ MPa} & c_b &= 0.0 \text{ mm}\end{aligned}$$

Local longitudinal stresses due to patch loading are not taken into account.
Local shear stresses due to patch loading are taken into account.

Shear stress :

$$\tau = 0.0 \text{ MPa}$$

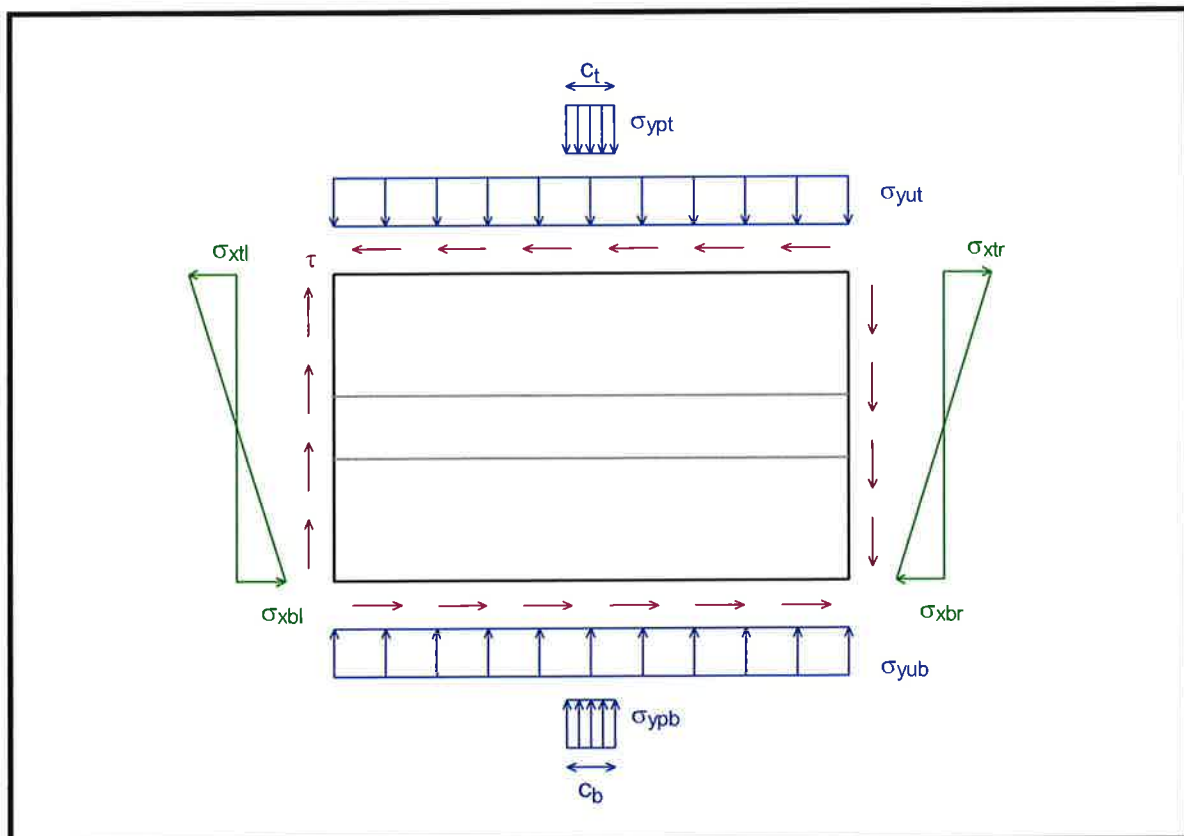


Figure 4 : Analytical stresses

Contract :

Contract item :

Note :

Longitudinal stresses in the plate, defined by user (meshed stresses) :*No stresses defined in the plate.***Transverse stresses in the plate, defined by user (meshed stresses) :***No stresses defined in the plate.***Shear stresses in the plate, defined by user (meshed stresses) :***No stresses defined in the plate.*

Contract :

Contract item :

Note :

RESULTS**Calculation options :***Matrices dimensions :*

Level of complexity : 3 (High complexity case)

Matrices dimensions : 40 x 24

Number of modes :

Desired modes : All eigen modes

Number of calculated modes : 833

Plate behaviour :

Calculation of the natural buckling modes

Results :*Reference stress :* $\sigma_E = 33.74 \text{ MPa}$ *Critical multiplier of the first buckling mode :* $\Phi_{cr} = 5.937$ *Critical stresses and buckling coefficients of the first buckling mode :**Longitudinal stresses :* $\sigma_{xtl.cr} = 1472.43 \text{ MPa}$ $k_{xtl} = 43.638$ $\sigma_{xbl.cr} = 1472.43 \text{ MPa}$ $k_{xbl} = 43.638$ $\sigma_{xtr.cr} = 1300.25 \text{ MPa}$ $k_{xtr} = 38.535$ $\sigma_{xbr.cr} = 1300.25 \text{ MPa}$ $k_{xbr} = 38.535$

Contract :

Contract item :

Note :

List of calculated modes :

n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}
1	5.9372	36	19.102	71	27.117	106	39.651
2	5.9834	37	19.184	72	27.145	107	39.760
3	6.1774	38	19.258	73	27.357	108	40.029
4	6.2161	39	19.524	74	27.692	109	40.754
5	6.5966	40	19.571	75	27.919	110	40.845
6	6.6444	41	20.087	76	27.992	111	40.961
7	6.8017	42	20.179	77	29.030	112	41.031
8	6.9332	43	20.408	78	29.273	113	41.039
9	7.4902	44	20.487	79	29.833	114	41.047
10	7.7374	45	21.084	80	29.901	115	41.153
11	7.8598	46	21.309	81	29.982	116	41.927
12	8.0499	47	21.710	82	30.331	117	41.971
13	9.0253	48	21.812	83	30.429	118	42.260
14	9.1483	49	21.908	84	30.470	119	42.263
15	9.2509	50	21.985	85	31.146	120	42.386
16	9.5486	51	22.037	86	32.043	121	42.432
17	10.535	52	22.501	87	32.100	122	43.102
18	10.827	53	22.700	88	32.432	123	43.390
19	11.393	54	22.752	89	32.745	124	43.466
20	11.480	55	22.869	90	33.000	125	43.531
21	12.992	56	22.967	91	33.003	126	43.665
22	13.089	57	23.452	92	33.300	127	43.668
23	13.966	58	23.525	93	34.498	128	43.786
24	14.160	59	23.883	94	34.627	129	43.924
25	15.992	60	24.086	95	35.525	130	44.208
26	16.040	61	24.361	96	35.534	131	44.987
27	16.075	62	24.511	97	35.537	132	45.082
28	16.814	63	24.723	98	35.879	133	45.146
29	17.020	64	24.723	99	37.120	134	45.584
30	17.093	65	25.308	100	37.146	135	45.714
31	17.869	66	25.507	101	37.956	136	46.068
32	17.982	67	25.836	102	38.168	137	46.717
33	18.209	68	25.877	103	38.461	138	46.977
34	18.695	69	26.390	104	39.142	139	46.986
35	18.870	70	26.802	105	39.646	140	47.163

Contract :

Contract item :

Note :

n°	ϕ_{cr}	n°	ϕ_{cr}	n°	ϕ_{cr}	n°	ϕ_{cr}
141	47.289	176	58.583	211	69.122	246	75.358
142	47.473	177	59.014	212	69.126	247	75.653
143	47.661	178	59.424	213	69.292	248	75.846
144	48.083	179	60.134	214	69.315	249	76.216
145	48.199	180	60.229	215	69.632	250	76.245
146	48.283	181	60.238	216	69.692	251	76.576
147	48.599	182	60.490	217	69.852	252	76.624
148	48.959	183	60.868	218	70.110	253	76.963
149	49.479	184	61.745	219	70.844	254	76.978
150	50.038	185	61.842	220	70.869	255	77.139
151	50.267	186	62.295	221	71.059	256	77.394
152	50.593	187	62.358	222	71.113	257	77.586
153	50.629	188	62.499	223	71.209	258	78.215
154	50.943	189	62.541	224	71.292	259	78.315
155	50.975	190	63.348	225	71.569	260	78.366
156	51.440	191	63.507	226	71.662	261	78.756
157	51.628	192	63.870	227	71.729	262	78.889
158	51.797	193	64.025	228	71.763	263	78.930
159	52.275	194	64.194	229	71.831	264	79.150
160	53.154	195	64.356	230	71.899	265	79.836
161	53.382	196	64.868	231	72.052	266	79.899
162	53.389	197	65.142	232	72.602	267	80.109
163	53.511	198	65.665	233	72.806	268	80.178
164	53.883	199	65.768	234	72.994	269	81.215
165	54.297	200	65.943	235	73.337	270	81.400
166	54.440	201	66.054	236	73.510	271	81.449
167	54.547	202	66.144	237	73.773	272	81.449
168	55.673	203	66.738	238	73.925	273	81.493
169	56.385	204	66.874	239	74.092	274	81.668
170	56.489	205	67.043	240	74.431	275	81.849
171	56.700	206	67.314	241	74.440	276	82.375
172	56.933	207	67.505	242	74.628	277	82.532
173	57.059	208	67.542	243	74.912	278	82.818
174	57.371	209	67.549	244	75.125	279	84.152
175	57.867	210	68.193	245	75.353	280	84.164

Contract :

Contract item :

Note :

n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}
281	84.245	316	97.351	351	111.63	386	128.29
282	84.245	317	97.413	352	111.82	387	128.91
283	84.427	318	97.758	353	111.88	388	129.42
284	84.821	319	98.263	354	111.91	389	129.78
285	84.874	320	100.15	355	112.22	390	132.35
286	85.040	321	100.59	356	112.31	391	133.01
287	85.052	322	101.02	357	112.99	392	133.43
288	85.795	323	101.17	358	113.50	393	133.55
289	86.288	324	101.20	359	113.59	394	134.01
290	86.423	325	102.40	360	113.82	395	134.93
291	86.453	326	102.78	361	113.91	396	136.21
292	87.497	327	102.95	362	115.11	397	137.07
293	87.516	328	104.31	363	115.59	398	137.80
294	87.851	329	104.49	364	115.72	399	138.71
295	88.176	330	104.79	365	116.02	400	139.03
296	88.413	331	104.80	366	116.11	401	139.99
297	88.612	332	104.82	367	116.25	402	140.59
298	89.610	333	105.03	368	116.91	403	141.85
299	90.041	334	105.04	369	118.09	404	142.18
300	90.075	335	105.56	370	118.17	405	143.33
301	90.389	336	107.21	371	118.40	406	144.49
302	90.733	337	107.38	372	118.66	407	144.83
303	91.161	338	107.41	373	118.87	408	144.94
304	91.558	339	107.63	374	118.88	409	145.30
305	91.842	340	107.66	375	119.86	410	146.63
306	92.308	341	107.67	376	120.78	411	146.65
307	92.639	342	107.92	377	121.33	412	146.88
308	93.392	343	108.79	378	121.57	413	146.99
309	93.708	344	109.53	379	121.69	414	147.25
310	93.904	345	109.58	380	122.05	415	147.95
311	94.194	346	109.62	381	124.42	416	149.13
312	94.435	347	109.82	382	124.74	417	149.55
313	95.211	348	109.87	383	125.68	418	149.86
314	95.653	349	111.21	384	126.11	419	150.23
315	96.917	350	111.56	385	127.37	420	150.36

Contract :

Contract item :

Note :

n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}
421	151.39	456	167.13	491	204.26	526	224.20
422	151.90	457	167.17	492	205.12	527	224.87
423	152.57	458	167.66	493	206.09	528	225.03
424	152.95	459	168.59	494	206.20	529	226.16
425	154.05	460	169.53	495	206.62	530	227.30
426	154.15	461	169.57	496	206.87	531	227.39
427	154.56	462	170.12	497	206.90	532	228.20
428	155.04	463	170.24	498	207.64	533	228.37
429	155.41	464	171.99	499	209.90	534	229.10
430	155.43	465	172.26	500	210.30	535	229.36
431	155.87	466	172.82	501	210.37	536	229.66
432	156.25	467	172.92	502	210.77	537	230.36
433	157.08	468	174.61	503	211.10	538	231.36
434	157.32	469	174.96	504	212.80	539	232.87
435	157.73	470	175.36	505	212.80	540	232.96
436	157.85	471	176.48	506	213.73	541	233.14
437	158.65	472	177.72	507	213.84	542	233.45
438	159.28	473	178.89	508	213.96	543	233.99
439	159.57	474	179.34	509	214.79	544	234.39
440	159.67	475	179.42	510	215.59	545	236.12
441	160.11	476	181.18	511	216.62	546	236.67
442	160.41	477	182.05	512	217.16	547	237.36
443	161.92	478	182.11	513	218.25	548	237.46
444	162.01	479	184.17	514	218.57	549	237.92
445	162.14	480	184.23	515	218.76	550	239.14
446	162.57	481	188.42	516	219.67	551	240.55
447	162.75	482	189.62	517	220.39	552	240.60
448	163.69	483	190.13	518	220.47	553	242.04
449	164.53	484	196.48	519	220.63	554	242.37
450	164.71	485	197.66	520	221.03	555	243.20
451	164.95	486	199.25	521	221.59	556	244.17
452	165.09	487	199.74	522	221.91	557	244.91
453	165.18	488	200.26	523	222.48	558	246.50
454	165.83	489	203.41	524	223.34	559	247.50
455	166.67	490	203.61	525	223.75	560	250.97

Contract :

Contract item :

Note :

n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}
561	253.00	596	284.26	631	331.76	666	413.04
562	253.06	597	285.60	632	331.85	667	419.73
563	253.58	598	287.42	633	335.23	668	431.80
564	253.80	599	289.40	634	335.51	669	433.33
565	254.06	600	289.67	635	339.06	670	433.64
566	255.13	601	290.71	636	340.00	671	434.26
567	258.43	602	291.20	637	342.20	672	434.26
568	258.98	603	292.67	638	345.21	673	437.22
569	260.59	604	295.51	639	345.31	674	441.83
570	262.10	605	297.32	640	345.41	675	456.41
571	263.41	606	298.63	641	348.37	676	456.92
572	263.81	607	299.73	642	349.67	677	462.48
573	265.53	608	304.30	643	351.80	678	465.13
574	267.22	609	304.61	644	352.41	679	467.09
575	268.23	610	305.91	645	352.51	680	479.79
576	268.40	611	307.07	646	357.90	681	485.92
577	270.25	612	308.39	647	360.55	682	487.29
578	270.49	613	308.62	648	362.81	683	503.41
579	271.39	614	308.86	649	362.81	684	509.09
580	272.00	615	309.72	650	367.63	685	519.97
581	272.18	616	311.07	651	370.09	686	521.30
582	272.24	617	311.23	652	370.65	687	526.49
583	272.86	618	312.75	653	373.61	688	527.63
584	273.53	619	312.99	654	382.17	689	533.88
585	274.64	620	315.59	655	384.59	690	548.81
586	274.76	621	317.64	656	385.44	691	550.05
587	275.20	622	317.81	657	386.42	692	553.80
588	275.57	623	318.73	658	391.77	693	554.81
589	276.58	624	319.48	659	392.02	694	557.35
590	277.58	625	322.01	660	396.62	695	562.50
591	277.90	626	325.55	661	399.35	696	575.81
592	278.60	627	328.27	662	401.59	697	586.63
593	280.72	628	328.27	663	407.92	698	593.21
594	281.37	629	329.96	664	409.98	699	606.20
595	282.09	630	331.03	665	412.20	700	612.61

Contract :

Contract item :

Note :

n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}
701	613.23	735	1128.2	768	2723.9	801	9026.5
702	629.40	736	1158.3	769	2767.3	802	9374.1
703	632.34	737	1183.0	770	2927.0	803	10156.3
704	641.34	738	1228.4	771	2962.6	804	10241.7
705	658.69	739	1235.9	772	3130.2	805	11182.7
706	662.64	740	1255.0	773	3229.9	806	11182.7
707	675.89	741	1288.2	774	3308.9	807	12069.8
708	677.01	742	1307.6	775	3327.0	808	12568.4
709	680.42	743	1389.7	776	3529.6	809	13109.9
710	686.95	744	1447.6	777	3667.9	810	13856.1
711	706.90	745	1486.4	778	3746.9	811	14015.6
712	726.30	746	1497.4	779	3841.5	812	14346.0
713	728.04	747	1583.1	780	4086.6	813	15244.4
714	755.61	748	1589.3	781	4114.2	814	16262.8
715	758.90	749	1604.0	782	4142.2	815	16262.8
716	759.38	750	1663.1	783	4396.6	816	17427.1
717	763.67	751	1700.3	784	4813.9	817	18485.8
718	766.07	752	1717.1	785	4991.6	818	18770.8
719	815.88	753	1719.5	786	5032.9	819	20004.9
720	839.51	754	1825.3	787	5587.3	820	21042.4
721	857.25	755	1870.1	788	5665.4	821	22605.6
722	880.19	756	1914.3	789	5828.1	822	22605.6
723	888.54	757	1979.6	790	6090.6	823	23939.5
724	891.80	758	2091.9	791	6215.0	824	23939.5
725	901.04	759	2106.4	792	6377.8	825	24919.7
726	921.51	760	2139.7	793	6445.4	826	25440.6
727	945.85	761	2189.8	794	6730.5	827	26550.5
728	985.68	762	2217.7	795	7001.5	828	28409.6
729	1030.8	763	2284.3	796	7383.8	829	29088.6
730	1047.6	764	2297.2	797	7760.4	830	29800.8
731	1054.9	765	2396.7	798	8461.7	831	35964.6
732	1062.2	766	2469.7	799	8521.0	832	51048.3
733	1086.9	767	2681.9	800	8894.6	833	55722.4
734	1087.9						

Elastic Buckling of Plates

CALCULATION SHEET

Reduzierte Steife im Bereich Auflager

Firm :
Username :
Contract :
Contract item :
Note :
Date : 21.05.2025

PLATE'S CHARACTERISTICS

Dimensions :

Width $a = 2.50 \text{ m}$
 Height $b = 1.50 \text{ m}$
 Thickness $t = 15.0 \text{ mm}$

Material characteristics :

Young's Modulus $= 210000. \text{ MPa}$
 Poisson's Ratio $= 0.30$

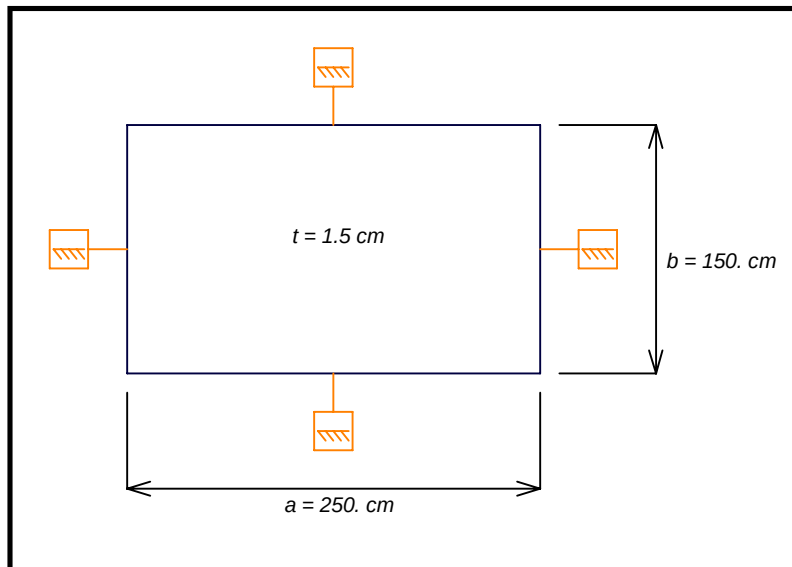


Figure 1 : Plate's dimensions and boundaries conditions

Boundaries conditions :

Side	Free	Clamped	Elastic restraints
Top		X	
Left		X	
Bottom		X	
Right		X	

Contract :

Contract item :

Note :

STIFFENING CONDITIONS

Isotropy / Orthotropy :

The plate is isotropic.

Reference flexural plate rigidity : $D = 64903.84 \text{ N.m}$

Stiffeners :

The plate is stiffened by 1 stiffener.

I	O	XY (cm)	Parameters			Type	Dimensions			
			δ	γ	θ		d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	d4 (mm)
1	H	x = 75.0	0.1727	89.16	51.46	T 4	160.	312.	133.	8.

I : Indice

H : Horizontal

T 1 : General Shape

T 4 : Trapezoidal section

O : Orientation

V : Vertical

T 2 : Angle

T 5 : Single sided flat bar

XY : Location

T 3 : Tee

T 6 : Double sided flat bar

Note :

The flexural inertia of the predefined type stiffeners is calculated taking into account an effective width of the plate. This width is equal to 10 times the thickness of the plate on each side of the connections of the stiffener.

I	L_w (mm)	Z_w (mm)
1	612.0	31.6

L_w : Total width of the plate taken into account for the calculation of the flexural rigidity

Z_w : Location of the neutral axis about the medium line of the plate

Contract :

Contract item :

Note :

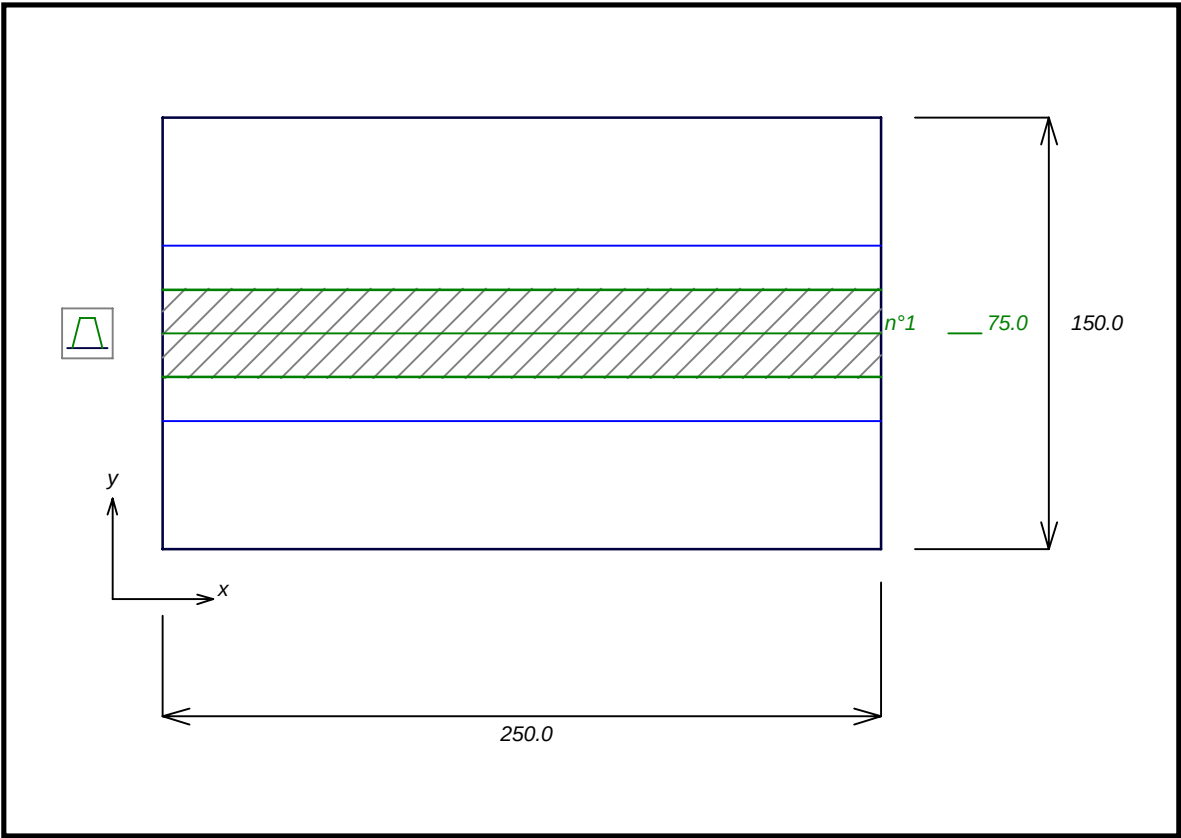


Figure 2 : Stiffeners

Contract :

Contract item :

Note :

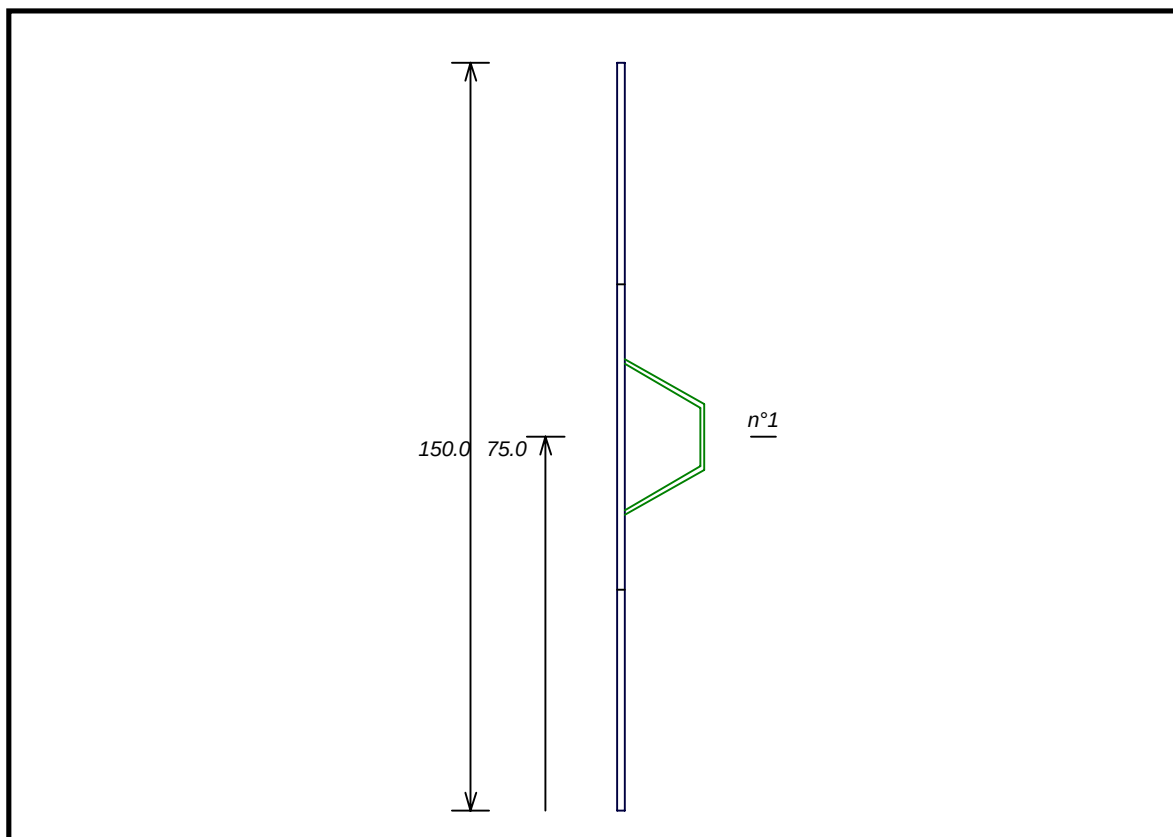


Figure 3 : Plate section with longitudinal stiffeners

Contract :

Contract item :

Note :

STRESSES

Analytical stresses :

Analytical stresses will be calculated from this data.

Longitudinal stresses :

$\sigma_{xt} = 210.0 \text{ MPa}$
 $\sigma_{xb} = 0.0 \text{ MPa}$

Transversal stresses :

$\sigma_{yt} = 0.0 \text{ MPa}$
 $\sigma_{yb} = 0.0 \text{ MPa}$

Patch Loading stresses :

$\sigma_{ypt} = 0.0 \text{ MPa}$ $c_t = 0.0 \text{ mm}$
 $\sigma_{ypb} = 0.0 \text{ MPa}$ $c_b = 0.0 \text{ mm}$

Local longitudinal stresses due to patch loading are not taken into account.
Local shear stresses due to patch loading are taken into account.

Shear stress :

$\tau = 0.0 \text{ MPa}$

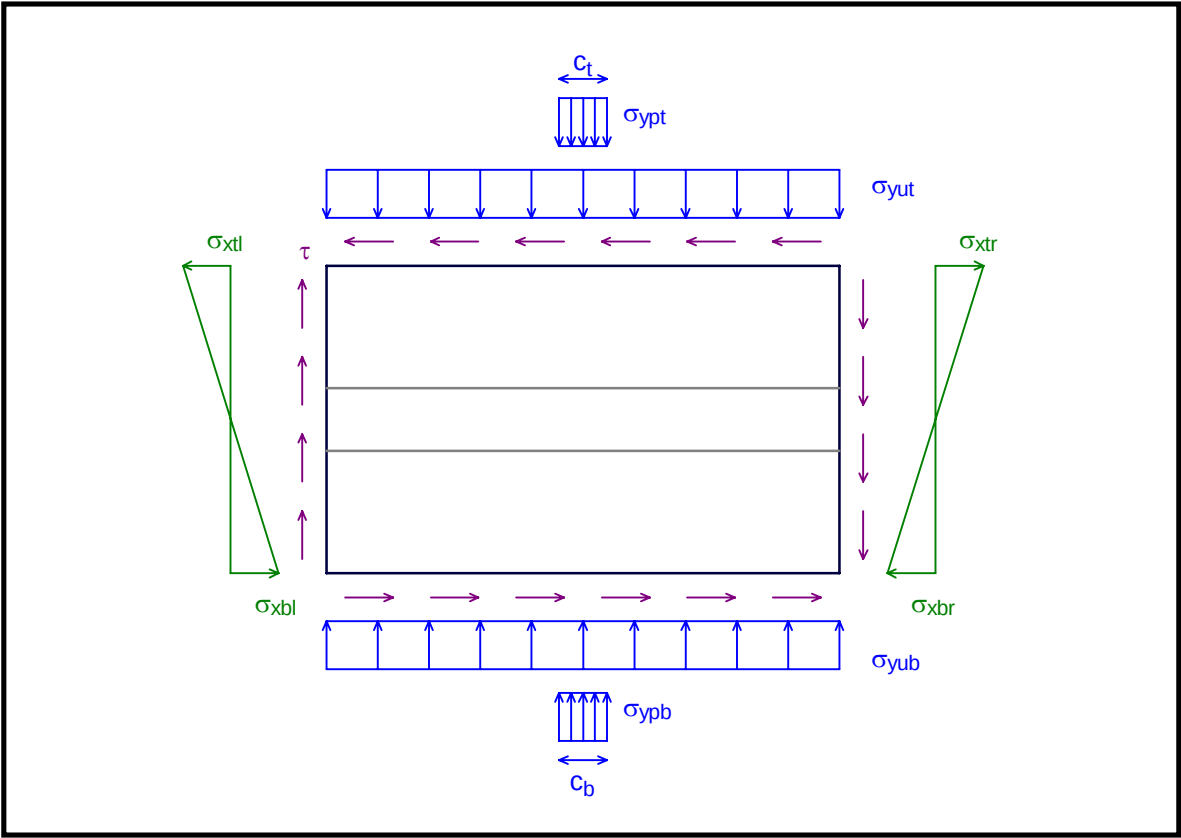


Figure 4 : Analytical stresses

Contract :

Contract item :

Note :

Longitudinal stresses in the plate, defined by user (meshed stresses) :*No stresses defined in the plate.***Transverse stresses in the plate, defined by user (meshed stresses) :***No stresses defined in the plate.***Shear stresses in the plate, defined by user (meshed stresses) :***No stresses defined in the plate.*

Contract :

Contract item :

Note :

RESULTS**Calculation options :***Matrices dimensions :*

Level of complexity : 3 (High complexity case)

Matrices dimensions : 40 x 24

Number of modes :

Desired modes : All eigen modes

Number of calculated modes : 829

Plate behaviour :

Calculation of the natural buckling modes

Results :*Reference stress :* $\sigma_E = 18.98 \text{ MPa}$ *Critical multiplier of the first buckling mode :* $\Phi_{cr} = 4.908$ *Critical stresses and buckling coefficients of the first buckling mode :**Longitudinal stresses :* $\sigma_{x_{tl},cr} = 1030.68 \text{ MPa}$ $k_{x_{tl}} = 54.303$ $\sigma_{x_{tr},cr} = 1030.68 \text{ MPa}$ $k_{x_{tr}} = 54.303$

Contract :

Contract item :

Note :

List of calculated modes :

n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}
1	4.9080	36	21.529	71	33.910	106	46.386
2	4.9107	37	21.589	72	33.966	107	46.616
3	5.3623	38	21.714	73	34.098	108	46.989
4	5.4457	39	23.420	74	34.514	109	47.753
5	6.0803	40	23.464	75	34.957	110	48.079
6	6.3456	41	23.716	76	35.129	111	48.757
7	7.2948	42	23.828	77	35.501	112	49.145
8	7.4561	43	24.379	78	35.633	113	49.185
9	8.4746	44	25.071	79	35.749	114	50.062
10	9.0294	45	25.500	80	35.935	115	50.510
11	10.266	46	25.968	81	36.172	116	50.621
12	11.098	47	26.082	82	36.778	117	50.632
13	12.570	48	26.414	83	36.993	118	51.405
14	13.139	49	26.660	84	37.616	119	51.818
15	14.592	50	26.761	85	38.041	120	53.290
16	15.236	51	27.211	86	38.249	121	53.343
17	15.500	52	27.421	87	38.452	122	53.370
18	15.506	53	27.671	88	38.767	123	53.962
19	15.977	54	28.315	89	38.892	124	54.034
20	15.978	55	28.762	90	39.205	125	55.228
21	16.641	56	29.004	91	40.387	126	55.659
22	16.678	57	29.085	92	40.416	127	56.198
23	16.944	58	29.709	93	41.152	128	56.225
24	17.046	59	29.959	94	41.395	129	56.435
25	17.107	60	30.854	95	41.631	130	56.527
26	17.875	61	31.130	96	41.695	131	56.596
27	18.202	62	31.409	97	42.736	132	56.819
28	18.262	63	31.594	98	42.825	133	56.968
29	18.684	64	31.804	99	43.043	134	57.055
30	18.877	65	32.298	100	43.270	135	57.786
31	19.483	66	32.607	101	44.318	136	57.905
32	19.587	67	33.323	102	44.369	137	58.057
33	20.057	68	33.408	103	44.700	138	58.965
34	20.851	69	33.578	104	45.342	139	59.056
35	21.033	70	33.880	105	45.453	140	59.081

Contract :

Contract item :

Note :

n°	ϕ_{cr}	n°	ϕ_{cr}	n°	ϕ_{cr}	n°	ϕ_{cr}
141	59.322	176	72.332	211	87.823	246	101.24
142	59.405	177	72.360	212	88.589	247	101.40
143	59.602	178	73.079	213	88.901	248	101.81
144	60.494	179	73.527	214	89.479	249	102.60
145	60.621	180	74.098	215	90.001	250	102.62
146	60.975	181	74.476	216	90.114	251	104.30
147	62.108	182	75.362	217	90.305	252	104.43
148	62.186	183	76.009	218	90.463	253	104.97
149	62.282	184	76.739	219	90.476	254	105.34
150	62.296	185	77.767	220	90.876	255	105.58
151	62.346	186	78.361	221	91.517	256	106.09
152	62.613	187	78.456	222	91.687	257	107.32
153	62.987	188	78.671	223	91.895	258	107.53
154	63.087	189	79.110	224	92.244	259	109.05
155	63.793	190	80.782	225	92.271	260	109.31
156	64.036	191	80.827	226	92.816	261	109.32
157	64.517	192	81.558	227	92.886	262	109.52
158	64.786	193	82.016	228	93.452	263	111.06
159	64.903	194	82.127	229	93.762	264	111.37
160	65.108	195	82.319	230	93.945	265	112.01
161	66.371	196	83.597	231	94.239	266	112.69
162	66.399	197	83.885	232	94.837	267	113.67
163	66.557	198	84.014	233	95.633	268	114.86
164	67.167	199	84.622	234	95.819	269	115.46
165	67.310	200	84.714	235	96.031	270	115.91
166	67.944	201	85.081	236	96.085	271	116.28
167	68.224	202	85.263	237	96.228	272	119.40
168	68.514	203	86.080	238	97.017	273	119.96
169	68.726	204	86.390	239	97.626	274	120.54
170	69.523	205	86.402	240	97.794	275	120.78
171	69.731	206	86.478	241	98.179	276	121.97
172	69.995	207	86.614	242	98.734	277	123.22
173	71.116	208	87.099	243	98.985	278	124.68
174	71.669	209	87.408	244	100.66	279	124.68
175	72.084	210	87.593	245	100.70	280	125.17

Contract :

Contract item :

Note :

n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}	n°	φ_{cr}
281	125.22	316	142.37	351	172.77	386	199.29
282	126.05	317	142.63	352	173.54	387	200.19
283	126.06	318	142.73	353	174.09	388	200.23
284	126.46	319	143.70	354	174.13	389	200.62
285	126.78	320	144.01	355	174.75	390	202.25
286	127.14	321	146.18	356	175.66	391	203.04
287	127.20	322	146.57	357	176.62	392	204.66
288	127.42	323	147.48	358	177.85	393	205.02
289	128.23	324	148.26	359	177.88	394	206.35
290	128.53	325	148.65	360	178.64	395	207.55
291	128.80	326	150.53	361	179.85	396	208.05
292	128.99	327	152.33	362	180.63	397	209.88
293	129.64	328	152.75	363	181.56	398	209.99
294	130.63	329	153.21	364	182.05	399	212.69
295	131.02	330	155.54	365	182.61	400	213.16
296	132.84	331	158.11	366	183.56	401	213.64
297	133.08	332	159.25	367	184.19	402	215.24
298	133.23	333	160.14	368	184.59	403	215.89
299	133.59	334	160.37	369	186.10	404	216.29
300	134.64	335	161.01	370	186.32	405	217.34
301	135.70	336	161.23	371	187.93	406	217.37
302	135.76	337	162.24	372	189.84	407	217.85
303	136.38	338	163.47	373	189.94	408	219.88
304	136.47	339	165.70	374	190.21	409	222.10
305	136.98	340	168.74	375	190.50	410	223.21
306	138.24	341	168.86	376	191.89	411	223.91
307	138.42	342	169.63	377	192.30	412	224.74
308	138.51	343	170.37	378	193.39	413	225.23
309	138.60	344	170.51	379	194.52	414	230.93
310	138.70	345	170.61	380	194.60	415	231.33
311	139.17	346	170.85	381	195.01	416	231.48
312	141.03	347	170.87	382	196.90	417	232.98
313	141.86	348	171.64	383	197.73	418	238.17
314	142.05	349	171.69	384	198.11	419	238.35
315	142.24	350	172.75	385	199.23	420	238.44

Contract :

Contract item :

Note :

n°	ϕ_{cr}	n°	ϕ_{cr}	n°	ϕ_{cr}	n°	ϕ_{cr}
421	239.30	456	273.79	491	323.84	526	377.16
422	239.39	457	274.35	492	324.17	527	377.31
423	239.82	458	275.85	493	324.23	528	378.76
424	240.59	459	276.38	494	325.98	529	380.38
425	241.18	460	277.98	495	326.38	530	380.85
426	242.21	461	278.23	496	327.64	531	383.03
427	242.21	462	281.71	497	328.62	532	383.42
428	244.18	463	283.12	498	328.91	533	388.85
429	245.04	464	283.90	499	330.30	534	389.25
430	245.14	465	283.94	500	331.89	535	391.37
431	245.30	466	285.02	501	332.48	536	392.27
432	245.55	467	288.99	502	333.60	537	397.53
433	245.85	468	290.79	503	334.92	538	398.21
434	246.79	469	293.20	504	338.80	539	398.72
435	248.13	470	293.30	505	339.36	540	401.72
436	248.46	471	295.05	506	343.92	541	404.15
437	248.66	472	297.69	507	344.04	542	406.61
438	249.16	473	298.78	508	347.17	543	407.59
439	249.59	474	301.04	509	348.01	544	409.19
440	251.43	475	302.99	510	349.58	545	413.63
441	253.10	476	305.37	511	354.68	546	414.92
442	253.51	477	308.34	512	355.22	547	415.75
443	254.72	478	309.67	513	359.25	548	418.73
444	255.94	479	315.31	514	359.60	549	419.38
445	256.51	480	316.43	515	361.89	550	422.70
446	258.14	481	316.59	516	362.60	551	426.27
447	258.60	482	317.62	517	365.72	552	428.03
448	259.03	483	317.83	518	368.17	553	428.91
449	261.31	484	319.30	519	369.48	554	433.89
450	262.97	485	320.45	520	369.84	555	436.02
451	263.49	486	320.61	521	370.43	556	438.26
452	263.97	487	321.27	522	370.43	557	439.71
453	266.34	488	321.39	523	372.79	558	443.67
454	269.49	489	322.33	524	372.87	559	443.88
455	270.93	490	322.49	525	374.14	560	446.22

Contract :

Contract item :

Note :

n°	ϕ_{cr}	n°	ϕ_{cr}	n°	ϕ_{cr}	n°	ϕ_{cr}
561	449.76	596	547.68	631	662.62	666	881.32
562	452.37	597	547.68	632	663.56	667	888.44
563	461.30	598	548.48	633	687.98	668	893.11
564	461.53	599	549.77	634	688.23	669	916.76
565	461.53	600	550.58	635	693.60	670	921.74
566	462.67	601	551.88	636	706.71	671	933.24
567	462.79	602	554.34	637	718.67	672	936.05
568	464.63	603	554.83	638	724.80	673	954.69
569	464.63	604	555.32	639	731.03	674	960.09
570	466.14	605	561.66	640	764.21	675	968.54
571	466.95	606	562.00	641	767.35	676	993.25
572	468.35	607	562.00	642	782.12	677	1004.5
573	470.12	608	567.81	643	787.39	678	1009.3
574	471.66	609	570.75	644	789.72	679	1036.8
575	473.34	610	577.99	645	789.72	680	1046.6
576	477.57	611	577.99	646	793.07	681	1068.2
577	478.55	612	580.14	647	793.07	682	1079.3
578	479.41	613	583.04	648	796.79	683	1141.9
579	482.75	614	584.32	649	798.15	684	1145.4
580	486.39	615	590.03	650	799.17	685	1146.8
581	491.25	616	591.90	651	801.91	686	1168.3
582	494.24	617	601.04	652	806.41	687	1183.9
583	496.07	618	605.12	653	807.81	688	1191.4
584	500.59	619	612.66	654	817.34	689	1202.1
585	500.73	620	613.06	655	819.13	690	1202.1
586	504.51	621	621.21	656	827.84	691	1207.6
587	506.15	622	623.70	657	833.01	692	1207.6
588	506.70	623	628.31	658	843.53	693	1216.2
589	507.94	624	633.64	659	845.06	694	1216.2
590	512.39	625	633.85	660	846.21	695	1227.4
591	515.36	626	637.75	661	851.22	696	1227.4
592	531.78	627	638.84	662	852.77	697	1229.0
593	532.39	628	643.45	663	863.01	698	1233.9
594	544.33	629	653.58	664	864.20	699	1243.7
595	544.49	630	657.03	665	875.54	700	1246.2

Contract :

Contract item :

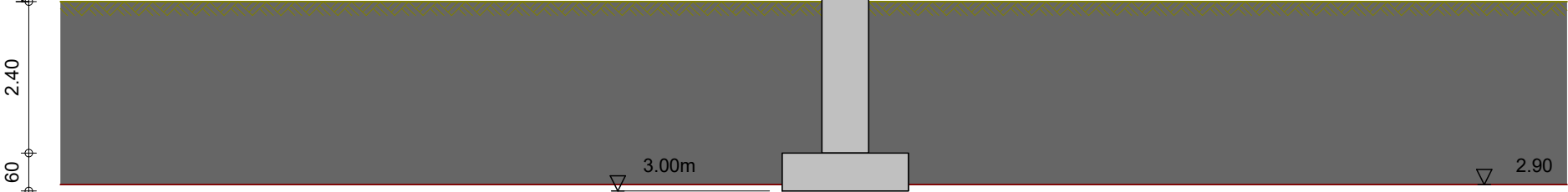
Note :

n°	ϕ_{cr}	n°	ϕ_{cr}	n°	ϕ_{cr}	n°	ϕ_{cr}
701	1258.0	734	1957.6	766	4146.0	798	12475.5
702	1262.2	735	1976.2	767	4348.6	799	12817.7
703	1267.4	736	2124.4	768	4651.6	800	12817.7
704	1282.1	737	2148.9	769	4698.4	801	13272.8
705	1292.8	738	2168.8	770	4770.3	802	13561.7
706	1309.1	739	2196.8	771	4844.5	803	13561.7
707	1318.3	740	2230.9	772	5067.8	804	14737.9
708	1340.0	741	2296.7	773	5194.5	805	15863.7
709	1348.7	742	2305.2	774	5343.0	806	17175.7
710	1352.6	743	2360.5	775	5358.4	807	18356.4
711	1374.5	744	2409.2	776	5516.5	808	18538.5
712	1378.6	745	2428.0	777	5975.0	809	19711.5
713	1385.7	746	2499.4	778	6013.4	810	19711.5
714	1415.1	747	2561.1	779	6091.8	811	20355.5
715	1443.5	748	2636.9	780	6192.8	812	20808.8
716	1480.1	749	2717.4	781	6826.0	813	21282.6
717	1490.7	750	2721.4	782	6826.0	814	22567.5
718	1510.0	751	2769.8	783	6826.0	815	23415.6
719	1542.4	752	2798.8	784	7306.3	816	24017.4
720	1567.0	753	2894.2	785	7665.9	817	24017.4
721	1595.1	754	2996.2	786	7761.4	818	25666.4
722	1611.6	755	3060.0	787	8204.2	819	27158.1
723	1612.9	756	3110.9	788	8464.3	820	28395.9
724	1629.8	757	3280.2	789	8700.7	821	28833.9
725	1675.1	758	3393.3	790	9081.2	822	30730.1
726	1696.4	759	3399.5	791	9448.4	823	32324.5
727	1743.9	760	3494.8	792	9744.0	824	34093.3
728	1768.6	761	3521.2	793	10394.2	825	34093.3
729	1792.4	762	3644.8	794	10511.1	826	34726.7
730	1822.1	763	3911.7	795	11271.7	827	36066.9
731	1825.6	764	3936.5	796	11409.3	828	44690.5
732	1905.7	765	4064.9	797	11918.6	829	46934.9
733	1923.3						

Nachweise Widerlager

Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	0.66	0.00	0.00	741.00	0.00	0.00	S

Aushub 1
z = 0.00 m



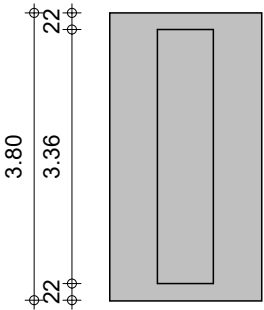
Deckschicht
 $\varphi = 28.0^\circ$
 $c = 0.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 20.0/10.0 \text{ kN/m}^3$

Thurschotter
 $\varphi = 35.0^\circ$
 $c = 0.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 20.0/10.0 \text{ kN/m}^3$

Seeablagerungen
 $\varphi = 26.0^\circ$
 $c = 10.0 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma/\gamma' = 20.0/10.0 \text{ kN/m}^3$

64 73 64

2.00



6.75

Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	0.66	0.00	0.00	741.00	0.00	0.00	S

Aushub 1
z = 0.00 m

2.40

60

3.00m

2.90

Deckschicht
 φ = 28.0°
c = 0.0 kN/m²
 γ/γ' = 20.0/10.0 kN/m³

Thurschotter
 φ = 35.0°
c = 0.0 kN/m²
 γ/γ' = 20.0/10.0 kN/m³

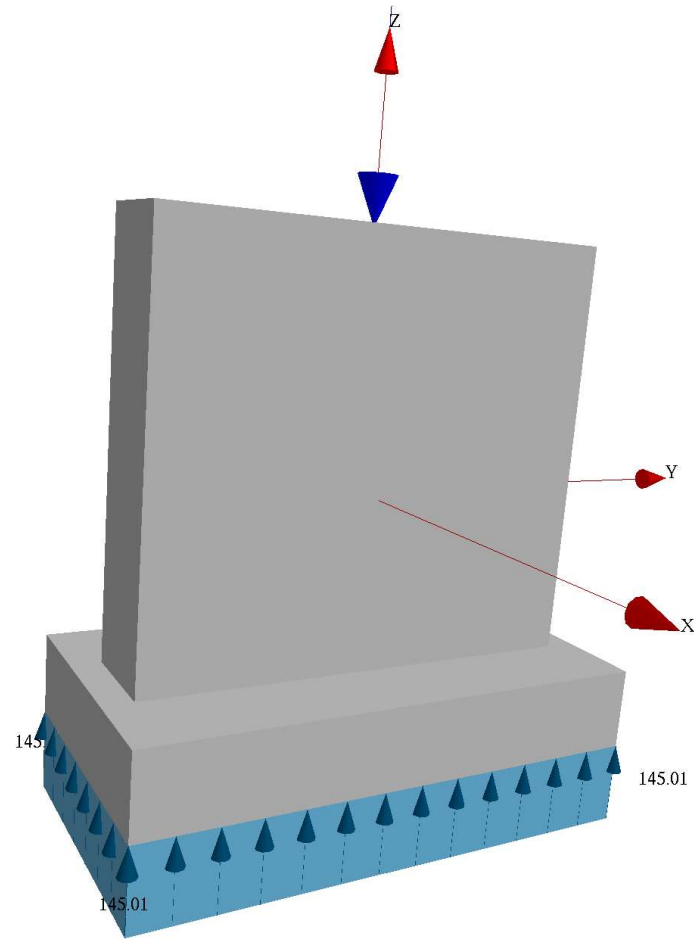
6.75

Seeablagerungen
 φ = 26.0°
c = 10.0 kN/m²
 γ/γ' = 20.0/10.0 kN/m³

22 3.36 22

3.80

2.00
64 73 64



Programm DC-Fundament *** Copyright 2006-2025 DC-Software Doster & Christmann GmbH, D-81245 München ***

Eingabedatei: N:\34942 mue Campussteg Wattwil\30 Bauprojekt Auflageprojekt\04 Statik\Bemessung Fundament.dbf

Fundament-Berechnung nach SIA 267

Erddruck nach SIA 261

Berechnung nach GZ Typ 2

Fundamenttyp: Einzelfundament

Fundamentabmessungen

Breite b : 2.00 m
Breite quer a : 3.80 m
Unterkante : -3.00 m
Höhe h : 0.60 m
Stütze b x d = : 0.73 x 3.36
Wichte γ : 25.00 kN/m³

Schichtdaten

		Deckschicht	Thurschotter	Seeablagerunge n
Schichthöhe Δh	[m]	2.90	3.85	93.25
Innere Reibung cal φ'	[°]	28.00	35.00	26.00
Kohäsion c	[kN/m²]	0.00	0.00	10.00
Wichte Boden γ	[kN/m³]	20.00	20.00	20.00
Wichte unter Auftrieb γ'	[kN/m³]	10.00	10.00	10.00
Steifemodul E _s	[MN/m²]	8.00	35.00	6.00
zul. Bodenpressung	[kN/m²]			

Einzellasten

Lastfall	Kat.	V [kN]	H _x [kN]	H _y [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	x [m]	y [m]	z [m]	γ Grundbau	γ Bemess.	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂
Eigengew.	G	114.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	-3.00	1.35	1.35			
1	G	741.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.66	1.35	1.35			

Teilsicherheitsbeiwerte für GZ Typ 1

γ-	G,inf	G,sup	Q	Ea
	0.90	1.10	1.50	1.35

Teilsicherheitsbeiwerte für GZ Typ 2

γ-	G	Q	R	R,h	γ	φ	c	cu	Ea	E0g	Ep	G,inf
	1.35	1.50	1.00	1.00	1.00	1.20	1.50	1.50	1.35	1.35	1.40	1.00

- γ - Teilsicherheitsbeiwert für ...
- G ständige Lasten
- Q veränderliche Lasten
- R Partialfaktor Grundbruch
- R,h Gleitwiderstand
- γ Wichte
- φ Reibungsbeiwert tan φ
- c Kohäsion c
- cu Kohäsion undränirt cu
- Ea Aktiver Erddruck
- E0g Ruhedruck
- Ep Passiver Erddruck
- G,inf günstige ständige Lasten

G_{sup} ungünstige ständige Lasten
 Q ungünstige veränderliche Lasten

Lastfall-Kombinationen für Grundbaunachweise:

Komb.Nr.	Eigengew.	1
1	1.00	1.00
2	1.00	1.35
3	1.35	1.00
4	1.35	1.35

Lastfall-Kombinationen für Bemessung:

Komb.Nr.	Eigengew.	1
1	1.00	1.00
2	1.00	1.35
3	1.35	1.00
4	1.35	1.35

Ergebnisse:

Komb.Nr.	Sohl-normalsp. [kN/m ²]	max.Boden- pressung [kN/m ²]	Gleiten T _d /R _d	Grundbr. N _d /R _d	max. Setzung [mm]	e/d ständig	e/d gesamt	EQU: E _{d,dst} /E _{d,stb}
1	145.0	145.0	0.00	0.08	3.3	0.000	0.000	0.000
2	145.0	145.0	0.00	0.10	3.3	0.000	0.000	0.000
3	145.0	145.0	0.00	0.09	3.3	0.000	0.000	0.000
4	145.0	145.0	0.00	0.11	3.3	0.000	0.000	0.000

Maßgebend:

Komb.Nr.	Sohl-normalsp. [kN/m ²]	max.Boden- pressung [kN/m ²]	Gleiten T _d /R _d	Grundbr. N _d /R _d	max. Setzung [mm]	e/d ständig	e/d gesamt	EQU: E _{d,dst} /E _{d,stb}
	145.0	145.0	0.00	0.11	3.3	0.000	0.000	0.000

Bewehrung:

Komb.Nr.	A _{s,x} unten [cm ²]	A _{s,y} unten [cm ²]	A _{s,x} oben [cm ²]	A _{s,y} oben [cm ²]
1	2.4	0.3	0.0	0.0
2	3.5	0.4	0.0	0.0
3	2.3	0.2	0.0	0.0
4	3.3	0.3	0.0	0.0

Maßgebend:

Komb.Nr.	A _{s,x} unten [cm ²]	A _{s,y} unten [cm ²]	A _{s,x} oben [cm ²]	A _{s,y} oben [cm ²]
	3.5	0.4	0.0	0.0

Nachweis gegen Kippen unter Gesamtlasten im GZ Typ 1

Schnittgrößen in der Sohlfuge

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4

Belastung aus Eigengewicht: V_d = 102.6 kN

Belastung aus Erdaufrost: V_d = 222.4 kN, M_{y,d} = 0.0 kNm, M_{x,d} = 0.0 kNm

Gesamtlast:

$N_d = 1140.1 \text{ kN}$, $Q_{x,d} = 0.0 \text{ kN}$, $M_{y,d} = 0.0 \text{ kNm}$, $Q_{y,d} = 0.0 \text{ kN}$, $M_{x,d} = 0.0 \text{ kNm}$

Ausmitte: $e_{x,d} = 0.00 \text{ m}$, $e_{y,d} = 0.00 \text{ m}$

Sohldruckkraft im Kern: $(e_x/b)^2 + (e_y/a)^2 = 0.000 \leq 0.111$

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der max. Bodenpressung

Schnittgrößen in der Sohlfuge

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4

Belastung aus Eigengewicht: $V = 114.0 \text{ kN}$

Belastung aus Erdaufrost: $V = 247.1 \text{ kN}$, $M_y = 0.0 \text{ kNm}$, $M_x = 0.0 \text{ kNm}$

Gesamtlast:

$N = 1102.1 \text{ kN}$, $Q_x = 0.0 \text{ kN}$, $M_y = 0.0 \text{ kNm}$, $Q_y = 0.0 \text{ kN}$, $M_x = 0.0 \text{ kNm}$

$\sigma_1 (-x,-y) = 145.0 \text{ kN/m}^2$, $\sigma_2 (+x,-y) = 145.0 \text{ kN/m}^2$, $\sigma_3 (-x,+y) = 145.0 \text{ kN/m}^2$, $\sigma_4 (+x,+y) = 145.0 \text{ kN/m}^2$

Ersatzbreiten: $b' = 2.00 \text{ m}$, $a' = 3.80 \text{ m}$

Sohnormalspannung $\sigma_{0r,k} = 145.0 \text{ kN/m}^2$

Nachweis der Gleitsicherheit im GZ Typ 2

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 1, maßgebende Richtung: -x

	Charakteristisch	Bemessungswerte
Belastung T	= 0.0 kN	0.0 kN
Belastung V	= 1102.1 kN	1102.1 kN
Reibungswinkel Sohle δ	= 35.00 °	30.26 °
Kohäsion c	= 0.00 kN/m ²	0.00 kN/m ²
Gleitwiderstand R_t	= 771.7 kN	643.1 kN

Nachweis: $T_d / (R_{t,d} + E_{p,d}) = 0.00 < 1.0$

*** Nachweis erfüllt ***

Nachweis der Grundbruchsicherheit im GZ Typ 2

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 4, maßgebende Richtung: -y

Belastung	Charakteristisch	Bemessungswerte
Auflast P	= 988.07 kN	1333.89 kN
Eigengewicht G	= 114.00 kN	153.90 kN
Gesamtlast V	= 1102.07 kN	1487.79 kN
Horizontallast H	= 0.00 kN	0.00 kN
Neigung der Resultierenden $\tan(\delta_s) = H/V$	= 0.00	

Abmessungen

Einbindetiefe d	= 3.00 m
Ersatzbreite b'	= 3.80 m
Ersatzbreite quer a'	= 2.00 m

Ergebnisse

Breite der Grundbruchfigur	= 19.15 m	
Tiefe der Grundbruchfigur	= 5.81 m	
Maßgebende Bodenkennwerte: γ oberhalb Gründungssohle	= 20.00 kN/m ³	20.00 kN/m ³
γ unterhalb Gründungssohle	= 20.00 kN/m ³	20.00 kN/m ³
Reibungswinkel φ	= 28.93 °	24.73 °
Kohäsion c	= 4.98 kN/m ²	3.32 kN/m ²
Tragfähigkeitsbeiwerte N_c , N_q , N_γ	= 20.33 10.37 7.77	
Lastneigungsbeiwerte i_c , i_q , i_γ	= 1.00 1.00 1.00	
Formbeiwerte s_c , s_q , s_γ	= 1.97 1.88 0.79	
Tiefenbeiwerte d_c , d_q , d_γ	= 1.27 1.21 1.00	

Grundbruchspannung p_d	=	1811.44 kN/m ²
Bemessungswert Grundbruchwiderstand R_d	=	13766.91 kN
Bemessungswert Beanspruchung N_d	=	1487.79 kN

Nachweis: $N_d / R_d = 0.11 < 1.0$

***** Nachweis erfüllt *****

Setzungsberechnung (GZG) im GZ Gebrauchstauglichkeit

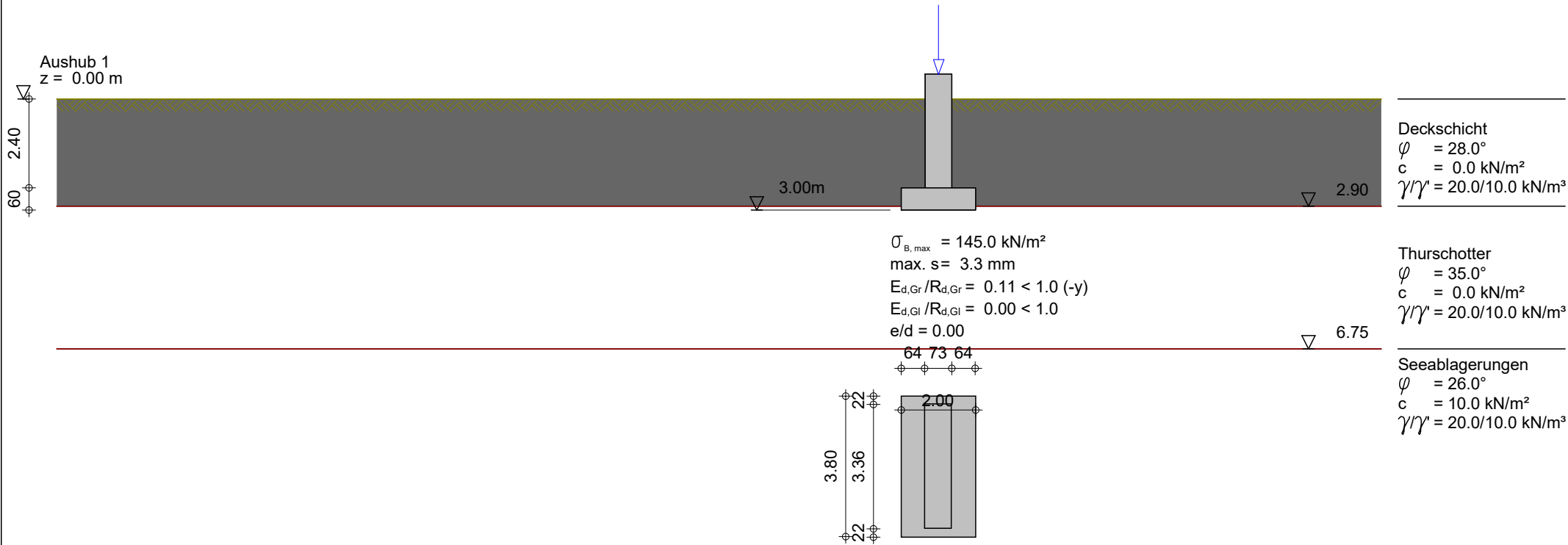
bezogen auf die Bodenpressungen an den kennzeichnenden Punkten:

Maßgebende Lastfall-Kombination: Nr. 1

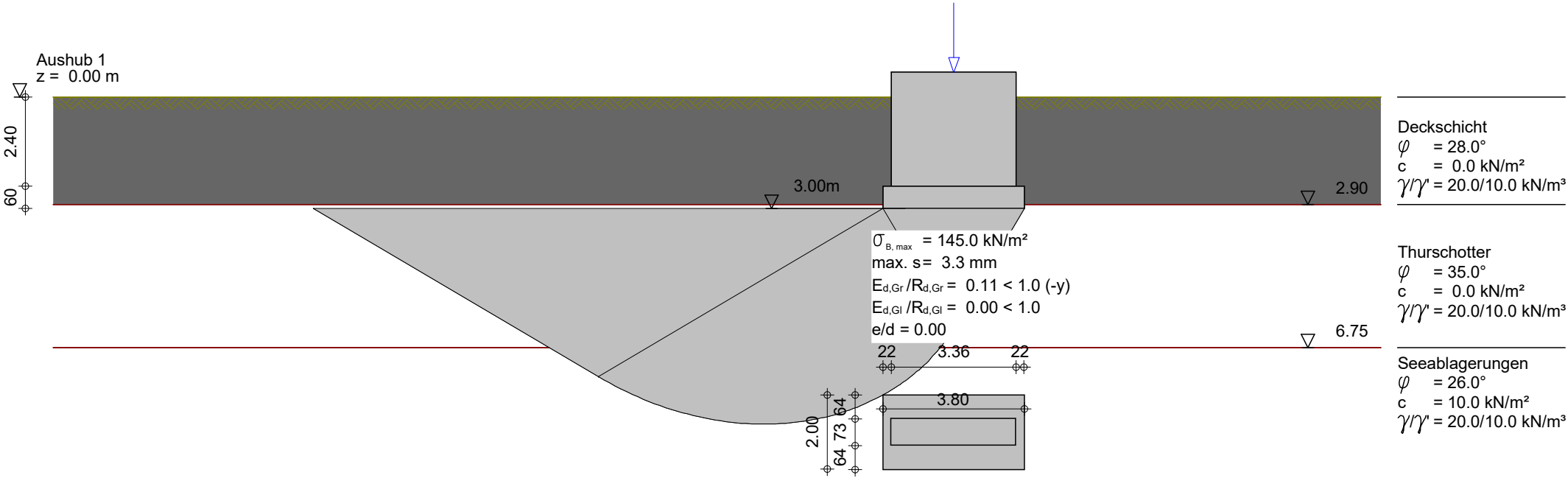
Setzung am Eckpunkt (-b/2;-a/2):	3.3 mm
Setzung am Eckpunkt (+b/2;-a/2):	3.3 mm
Setzung am Eckpunkt (-b/2;+a/2):	3.3 mm
Setzung am Eckpunkt (+b/2;+a/2):	3.3 mm

Maximale Setzung:	3.3 mm
Angesetzte Grenztiefe:	6.00 m

Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	0.66	0.00	0.00	741.00	0.00	0.00	S



Lf-Name	x	y	z	Hx	Hy	Vz	Mx	My	Typ
1	0.00	0.00	0.66	0.00	0.00	741.00	0.00	0.00	S



Stahlbetonbemessung nach SIA 262

Materialwerte: Beton C20/25 Bewehrung: B500B

Randabstände Bewehrungsachse:

$d_{\text{oben, x}} = 5.0 \text{ cm}$, $d_{\text{unten, x}} = 5.0 \text{ cm}$, $d_{\text{oben, y}} = 5.0 \text{ cm}$, $d_{\text{unten, y}} = 5.0 \text{ cm}$

Maßgebende Schnittgrößen (Schnitt am Stützenrand)

Sicherheitsbeiwerte

für Lasten: γ_F nach GZ Typ 2

für Widerstände: $\gamma_R = 1.50$ (Beton), 1.15 (Stahl)

Bemessungsschnittgrößen

Moment im Querschnitt: $\max. M_{yd} = 88.97 \text{ kNm}$

aus Kombination Nr. 2: maßgebende Sohlschnittgrößen $N_d = 1361.4 \text{ kN}$, $M_{xd} = 0.0 \text{ kNm}$, $M_{yd} = 0.0 \text{ kNm}$

Moment im Querschnitt: $\max. M_{xd} = 3.97 \text{ kNm}$

aus Kombination Nr. 1: maßgebende Sohlschnittgrößen $N_d = 1102.1 \text{ kN}$, $M_{xd} = 0.0 \text{ kNm}$, $M_{yd} = 0.0 \text{ kNm}$

Erforderliche Bewehrung:

erf. $A_{Sx, \text{unten}} = 3.5 \text{ cm}^2$

gewählt: 2 $\emptyset$ 16 mm = 4.0 cm²

Verteilung der unteren Bewehrung in x-Richtung:

Breite [cm]:	47.5	47.5	47.5	47.5	47.5	47.5	47.5	47.5
gewählt:	0 $\emptyset$ 16	0 $\emptyset$ 16	0 $\emptyset$ 16	1 $\emptyset$ 16	1 $\emptyset$ 16	0 $\emptyset$ 16	0 $\emptyset$ 16	0 $\emptyset$ 16

erf. $A_{Sy, \text{unten}} = 0.4 \text{ cm}^2$

gewählt: 2 $\emptyset$ 16 mm = 4.0 cm²

Verteilung der unteren Bewehrung in y-Richtung:

Breite [cm]:	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
gewählt:	0 $\emptyset$ 16	0 $\emptyset$ 16	0 $\emptyset$ 16	1 $\emptyset$ 16	1 $\emptyset$ 16	0 $\emptyset$ 16	0 $\emptyset$ 16	0 $\emptyset$ 16

Durchstanznachweis

(maßgebende Lastfall-Kombination Nr. 2)

Abstand des Nachweisschnitts vom Stützenrand	=	0.28 m
Umfang des Nachweisschnitts	=	6.49 m
Fläche des Nachweisschnitts	=	2.75 m ²
Gesamt-Querkraft V_d	=	1000.4 kN
davon durch Sohldruck aufgenommen:	=	362.1 kN
Bemessungswert der Querkraft V_{Ed}	=	638.2 kN
Mittelwert des Biegemoments m_{sd}	=	0.0 kNm/m
Biege widerstand m_{Rd}	=	0.0 kNm/m
Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd, c}$	=	0.0 kN
max. Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd, max}$	=	0.0 kN

Durchstanznachweis nicht erforderlich (Randabstand $\leq 0.5 \cdot d$)

Querkraftbemessung

Schnitt im Abstand z bei $x = -0.86$ m: V_{Ed}	=	61.8 kN
Schnitt im Abstand $d/2$ bei $x = -0.64$ m: V_{Ed}	=	158.9 kN
Schnitt im Abstand $d/2$ bei $x = -0.64$ m: v_{Ed}	=	41.8 kN/m
Momentenbelastung m_d bei $x = -0.64$ m	=	10.6 kNm/m
Biegewiderstand m_{Rd} bei $x = -0.64$ m	=	25.2 kNm/m
Querkrafttragfähigkeit v_{Rd}	=	329.7 kN/m
max. Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,max}$	=	5973.0 kN/m
Keine Querkraftbewehrung erforderlich: $V_{Ed} \leq V_{Rd}$		

Schnitt im Abstand z bei $x = 0.86$ m: V_{Ed}	=	61.8 kN
Schnitt im Abstand $d/2$ bei $x = 0.64$ m: V_{Ed}	=	158.9 kN
Schnitt im Abstand $d/2$ bei $x = 0.64$ m: v_{Ed}	=	41.8 kN/m
Momentenbelastung m_d bei $x = 0.64$ m	=	10.6 kNm/m
Biegewiderstand m_{Rd} bei $x = 0.64$ m	=	25.2 kNm/m
Querkrafttragfähigkeit v_{Rd}	=	329.7 kN/m
max. Querkrafttragfähigkeit $V_{Rd,max}$	=	5973.0 kN/m
Keine Querkraftbewehrung erforderlich: $V_{Ed} \leq V_{Rd}$		

Zusammenfassung

Alle Nachweise sind erfüllt.