



# Erneuerung Waldenburgerbahn Los 6.1 : Haltestelle Hirschlang (exkl.) bis Haltestelle Winkelweg (inkl.)



Auflageprojekt

## Statische Berechnung

Variante B: Pfahlwand mit Betonplatte und Schottertrasse

Version 2.0 | 12. April 2019

Projektverfasser  
IG Lampenstein

Bauherrschaft  
BLT Baselland Transport AG

Lucas Rentsch

Thomas Müller

Reto Rotzler

Peter Baumann

## Impressum

---

Auftragsnummer 9670

Auftraggeber BLT Baselland Transport AG

Datum 12. April 2019

Version 2.0

Autor(en) Andrin Leimgruber

Freigabe Lucas Rentsch / Antonina Hochuli

Verteiler

Datei K:\9000\9670\_MTh\_BLT\_WBZU\_Los6\P500\_Projektierung\P540\_Bau\_und Auflageprojekt\Statik\Variante Bohrpfahlwand\_Niederdorf\9670\_SB\_Variante\_Pfahlwand\_mit\_Betonplatte\_und\_Schottertrasse\_20190212\_V\_2\_0.docx

Seitenanzahl 57

Copyright

## Inhalt

<b>Änderungsverzeichnis</b>	<b>iii</b>
<b>1 Allgemein</b>	<b>1</b>
1.1 Einleitung	1
1.2 Objektbeschreibung	1
1.3 Bestand der vorliegenden statischen Berechnung	1
1.4 Objektskizzen, Übersichtsplan	2
1.4.1 Situation der Variante Pfahlwand	2
1.4.2 Querschnitt der Variante Pfahlwand	3
<b>2 Baugrund- und Tragwerksmodell</b>	<b>4</b>
<b>3 Baustoffe</b>	<b>4</b>
<b>4 Einwirkungen</b>	<b>4</b>
4.1 Ständige Einwirkungen	4
4.1.1 Eigenlast	4
4.1.2 Auflast	4
4.1.3 Ständige Einwirkungen infolge der Fahrleitungsmasten	4
4.1.4 Erddruck infolge Bodeneigenlast	4
4.2 Veränderliche Einwirkungen	5
4.2.1 Schmalspurbahnverkehr	5
4.2.2 Lastausbreitung des Schmalspurbahnverkehrs	5
4.2.3 Erddruck infolge der veränderlichen Lasten	7
4.2.4 Veränderliche Einwirkungen infolge der Fahrleitungsmasten	7
4.3 Aussergewöhnliche Einwirkungen	7
4.3.1 Entgleisung	7
4.3.2 Erdbeben	8
<b>5 Vorbemerkungen zur statischen Berechnung</b>	<b>9</b>
5.1 Allgemein	9
5.2 Nachweis Tragsicherheit	10
<b>6 Vorfabrikation und Ortsbetonplatte</b>	<b>11</b>
6.1 Tragsicherheit	11
6.1.1 Mindestbewehrung	11
6.1.2 Grenzzustand Typ 2	14
6.2 Gebrauchstauglichkeit	18
<b>7 Bohrpfahlwand</b>	<b>21</b>

<b>7.1</b>	<b>Tragsicherheit</b>	<b>21</b>
7.1.1	Mindestbewehrung	21
7.1.2	Grenzzustand Typ 2	21
	<b>Gebrauchstauglichkeit</b>	<b>23</b>
<b>8</b>	<b>Einzelfähle</b>	<b>24</b>
<b>8.1</b>	<b>Tragsicherheit</b>	<b>24</b>
8.1.1	Mindestbewehrung	24
8.1.2	Grenzzustand Typ 2	24
<b>9</b>	<b>Gewählte Bewehrung</b>	<b>26</b>
<b>10</b>	<b>Bewehrungsskizze</b>	<b>27</b>
<b>Anhang</b>		<b>28</b>

## Änderungsverzeichnis

REV.	ÄNDERUNG	URHEBER	DATUM	BEMERKUNG
1.0	Statische Berechnung Stufe Bau- und Auflageprojekt	IGLS	12.02.2019	
2.0	Bereinigt nach Vernehmlassung Prüfenieur und BLT	IGLS	12.04.2019	

# **1 Allgemein**

## **1.1 Einleitung**

Um die Inbetriebnahme der Waldenburgerbahn Ende 2022 sicherzustellen wurde ein Bauvorgang erarbeitet, bei dem zuerst die Stützkonstruktion Seite WB erstellt werden kann und erst danach diejenige entlang dem rechten Ufer der Vorderen Frenke. Das Konzept basiert darauf, dass auf der Seite WB wenn immer möglich mit einer Pfahlwand und einer Betontragplatte unter dem Schottertrasse gearbeitet werden soll.

## **1.2 Objektbeschreibung**

Es sollen auf der Seite WB rund 980 m mit der Variante Pfahlwand mit Betonplatte und Schottertrasse erstellt werden. Insgesamt wird die Variante in drei Abschnitten an Stelle der Stützmauer ausgeführt.

Dabei wird eine durchgehende Pfahlwand in der Achse der künftigen WB erstellt. Bei der Pfahlwand wird jeder Pfahl armiert. Zusätzlich zu dieser Pfahlwand wird alle 5 m ein Einzelpfahl versetzt. Auf diese Tiefenfundation wird eine verlorene Schalung mit einer Brüstung installiert, auf der eine Ortsbetonplatte errichtet wird. Die Brüstung hat wie die Stützmauer an der Mauerkrone eine Breite von 0.4 m. Die Ortsbetonplatte wird mit einer Dicke von 0.5 m ausgeführt. Die Einzelpfähle und die Pfähle der Pfahlwand haben beide einen Durchmesser von 1 m. Die Einzelpfähle haben eine Länge von ca. 4 m. Die Pfähle der Pfahlwand sind ca. 7.5 m lang. Die Höhe zwischen der Flusssohle und der Oberkante der Brüstung beträgt ca. 3.3 m.

## **1.3 Bestand der vorliegenden statischen Berechnung**

Die vorliegende statische Berechnung ist als Ergänzung zu den statischen Berechnungen für die Stützmauer Seite Waldenburgerbahn und Dorfgasse zu verstehen (S5A). Angaben die auch für die Variante Pfahlwand mit Betonplatte und Schottertrasse gültig sind, werden hier nicht noch einmal aufgeführt und sind der erwähnten Statik zu entnehmen. In der vorliegenden statischen Berechnung wird der maßgebende Schnitt der Variante Pfahlwand mit Betonplatte und Schottertrasse betrachtet. Dieser befindet sich bei km 10.452.

## 1.4 Objektskizzen, Übersichtsplan

### 1.4.1 Situation der Variante Pfahlwand

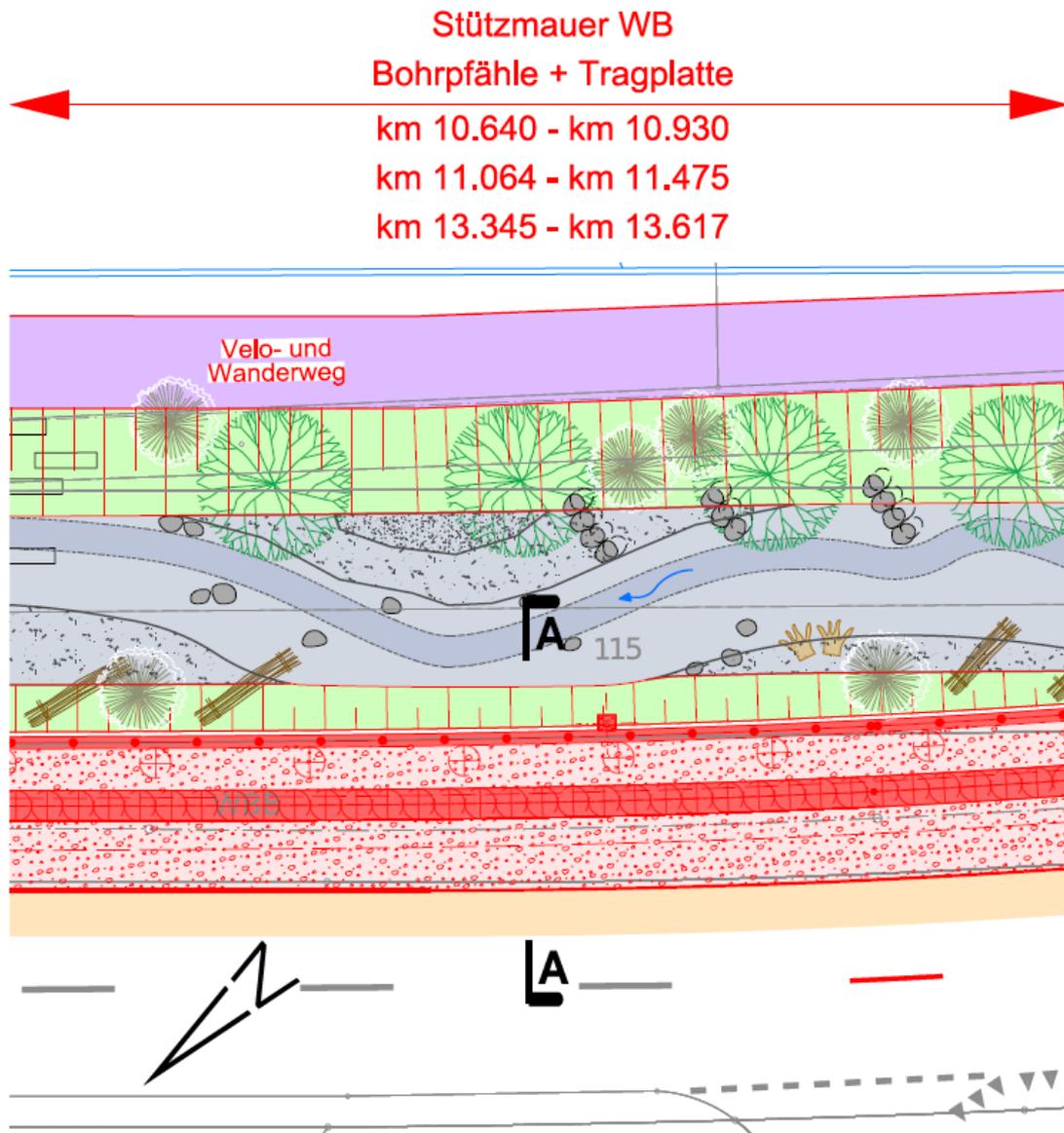


Abbildung 1: Situationsplan





## 4.2 Veränderliche Einwirkungen

### 4.2.1 Schmalspurbahnverkehr

#### 4.2.1.1 Lastmodell 4

$$Q_k = 130 \text{ kN} \quad \text{SIA 261 12.2, Tab.17}$$

$$q_k = 25 \text{ kN/m}$$

$$\alpha=1.00 \quad \text{SIA 261 12.3.2}$$

$$\Phi=1.0 \quad \text{SIA 261 12.3.1}$$

$$11.3.1.6$$

#### 4.2.1.2 Schlingerkraft

$$QS_k = \alpha \cdot 50 \text{ kN} \text{ mit } \alpha=1.00 \quad \text{SIA 261 12.2.3.2, 11.2.3.1}$$

$$QS_k = 1.00 \cdot 50 \text{ kN} = 50 \text{ kN}$$

#### 4.2.1.3 Zentrifugalkraft

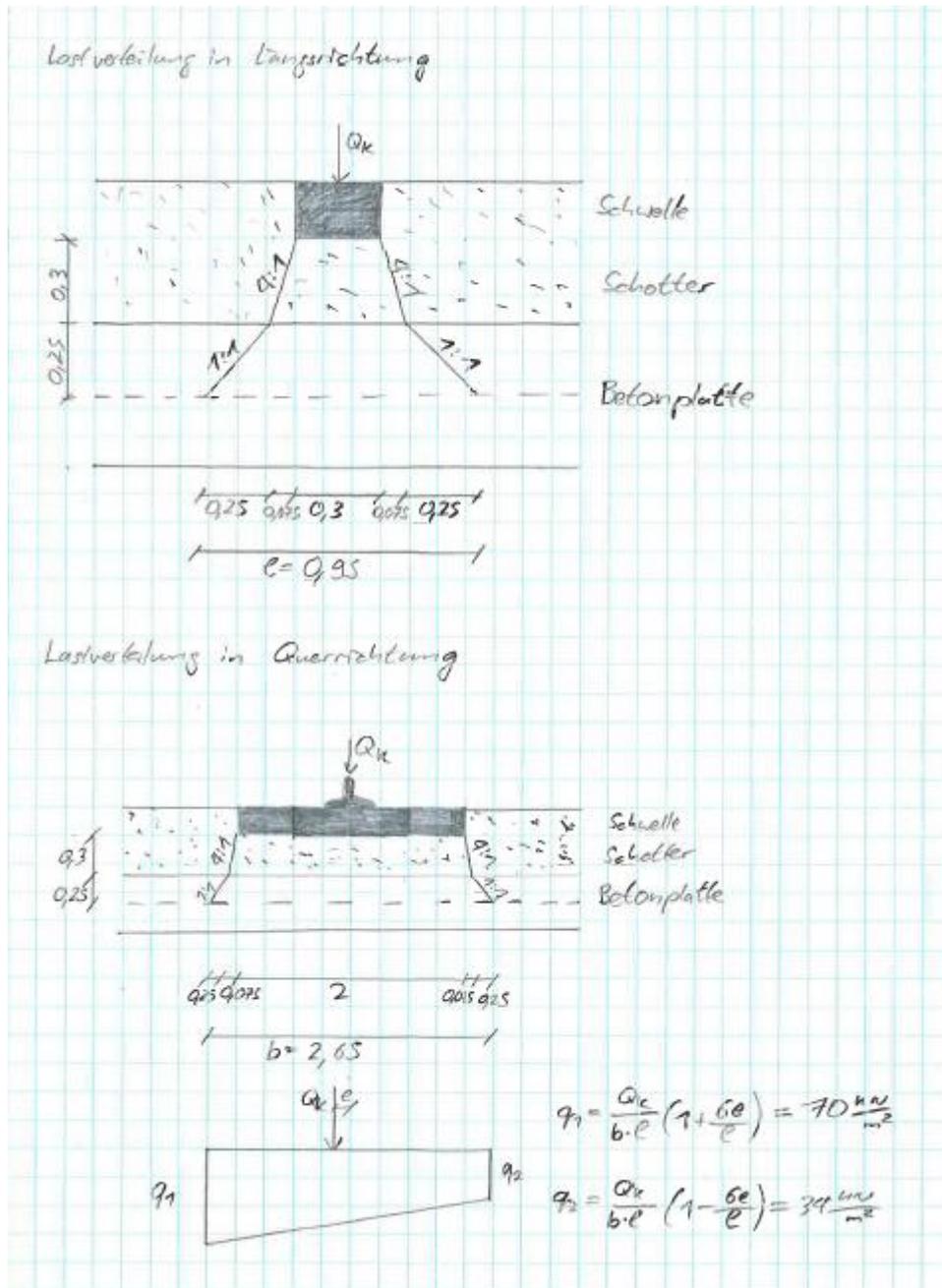
Der massgebende Schnitt der Variante Pfahlwand mit Betonplatte und Schottertrasse liegt in einem geraden Abschnitt und die Zentrifugalkraft wird deshalb nicht angesetzt.

#### 4.2.1.4 Anfahrt und Bremskräfte

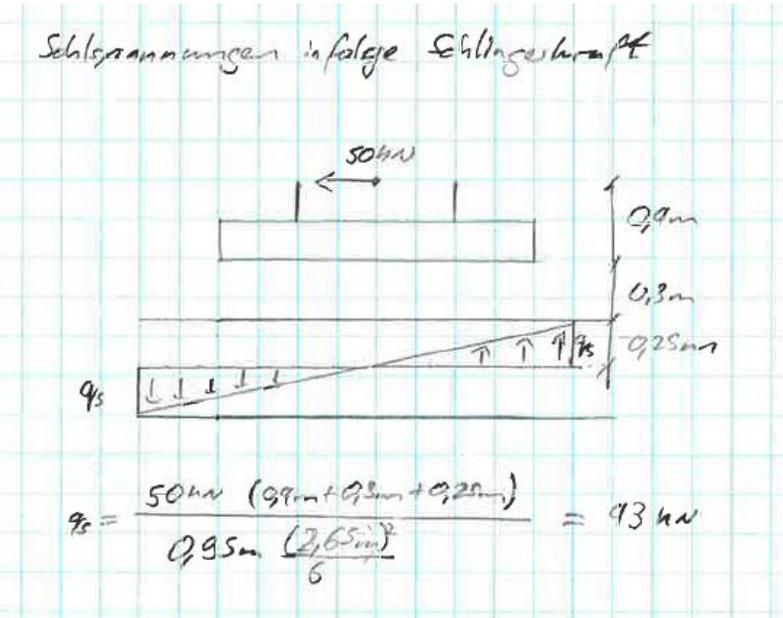
Sind nicht massgebend.

### 4.2.2 Lastausbreitung des Schmalspurbahnverkehrs

Die Lastverteilung der Lasten aus dem Schmalspurbahnverkehr wird gemäss SIA 261 11.2.6.4 Figur 14 angeordnet und die Exzentrizität der Last beträgt gemäss SIA 261 12.2.6.2 1/18 der Spurweite. Dies ergibt bei einer Meterspur eine Exzentrizität von 56 mm. Aus der Exzentrizität ergibt sich eine Trapezförmige Lastverteilung in Querrichtung.



Die Schlingerkraft wird gemäss SIA 11.2.3.1 als horizontale Einzelkraft in ungünstiger Stellung angeordnet und die Lastverteilung erfolgt gemäss SIA 261 11.2.6.4 Figur 14. Aus dem horizontal wirkenden Anteil der Schlingerkraft entsteht ein Moment. Um den vertikalen Anteil zu ermitteln, wird angenommen, dass die Schwelle das Widerstandsmoment darstellt. Dabei entstehen unter den Schwellen Sohlspannungen. Diese wurden den Sohlspannungen aus den vertikalen Kräften des Schmalspurbahnverkehrs, im Bereich von einer Achslast überlagert.



Anhang A6 und A7

### 4.2.3 Erddruck infolge der veränderlichen Lasten

#### 4.2.3.1 Strassenlast

Bei der Hauptstrasse, die neben dem Trasse der Waldenburgerbahn verläuft, handelt es sich um Route für Ausnahmetransporte vom Typ 1. Die Last aus dem Ausnahmetransport wurde über die halbe Breite der Strasse angesetzt.

$$Q_k = 4800 \text{ kN} \quad \text{SIA 261/1 10.1.2.4, Tab. 11}$$

$$n = 8 \quad \text{SIA 261/1 10.1.2.4, Tab. 11}$$

$$c = n * 1,8 \text{ m} = 14,4 \text{ m} \quad \text{SIA 261/1 10.1.2.2}$$

$$q = \frac{Q_k}{2 * c * 3 \text{ m}} = 56 \text{ kN/m}^2$$

Anhang C3

### 4.2.4 Veränderliche Einwirkungen infolge der Fahrleitungsmasten<sup>2</sup>

$$H_{ver k} = \pm 5 \text{ kN} \quad \text{siehe PB}$$

$$M_{ver k} = \pm 40 \text{ kNm} \quad \text{siehe PB}$$

Der kleinste Abstand zwischen den zwei Fahrleitungsmasten beträgt 22,5 m.

Anhang A5

## 4.3 Aussergewöhnliche Einwirkungen

### 4.3.1 Entgleisung

Entgleisungslastmodell 1:

$$QE_d = 180 \text{ kN} \quad \text{SIA 261 Tab. 19}$$

$$qE_d = 35 \text{ kN/m}$$

<sup>2</sup> Einwirkungen am Fuss des FL-Mastes

Entgleisungslastmodell 2:  $q_{Ed} = 50 \text{ kN/m}$  SIA 261 Tab. 19  
 Die Entgleisungslast wird auf der Sperrschicht auf einer Breite von 0.45 m verteilt (analog Entgleisung auf der Brücke). Zusätzlich zu dieser Verteilung wird die Last durch das Ausbreiten in der Betonplatte zusätzlich auf einer Breite von 0.5 m verteilt. Daraus ergibt sich eine Verteilung der Last auf einer Breite von 0.95 m.

Für das Entgleisungslastmodell 1 werden die Einzellasten in der gleichen Länge wie in der Breite verteilt.

Entgleisungslastmodell 1:

$$QE_d = \frac{180 \text{ kN}}{0.95 \text{ m} \cdot 0.95 \text{ m}} = 200 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \rightarrow \frac{QE_d}{2} = 100 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{Ed} = \frac{35 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{0.95 \text{ m}} = 37 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \rightarrow \frac{q_{Ed}}{2} = 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Anhang A4 und A5

Entgleisungslastmodell 2:

$$q_{Ed} = \frac{50 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{0.95 \text{ m}} = 53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Anhang A3 und A4

#### 4.3.2 Erdbeben

- Gefährdungszone Z2 SIA 261 16.2.1  
 Bodenbeschleunigung:  $a_{gd} = 1.0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- Bauwerksklasse II SIA 261 Tab. 25  
 Bedeutungswert:  $\gamma_f = 1.2 [-]$   
 (Verkehrswege mit erheblicher Bedeutung)
- Baugrundklasse D SIA 261 Tab. 24  
 Parameter zur Bestimmung des elastischen Antwortspektrums:  
 $S = 1.35 [-]$   
 Siehe Seite A1-60, A2-50
- Bemessungswert der Erdbebeneinwirkung auf die Stützbauwerke:

Horizontale Kräfte  $A_{h,d} = \gamma_f \cdot \frac{a_{gd}}{g \cdot q_a \cdot q_h} \cdot S \cdot G_k$

Vertikale Kräfte  $A_{v,d} = 0.5 \cdot A_{h,d}$

siehe SIA 267 7.5.2.1

Die vertikalen Kräfte werden in der Bemessung nicht angesetzt.

- Verhaltensbeiwert:  $q_a = 1.5 [-]$  SIA 267 Tab.2
- Beiwert für die Ausdehnung des Bruchkörpers:  $q_h = 1.0 [-]$  SIA 267 Tab.3

$$\rightarrow A_{h,d} = 1.20 \cdot \frac{1.0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1.5 \cdot 1.0} \cdot 1.35 \cdot G_k = 0.1102 \cdot G_k$$

$$\rightarrow A_{v,d} = 0.5 \cdot 0.1102 \cdot G_k = 0.055 \cdot G_k$$

Anhang B4

## 5 Vorbemerkungen zur statischen Berechnung

### 5.1 Allgemein

Die Ortsbetonplatte wurde zusammen mit der vorgefertigten, verlorenen Schalung im Programm Cedrus-7 bemessen. Die Vorfabrikation und die Ortsbetonplatte wurden dabei als monolithische Platte mit einer Dicke von 0.5 m modelliert.

Die Auflager der Platte bei der Bohrpfehlwand und den Einzelpfählen wurde dabei als frei drehbar in x und y-Richtung modelliert. Die Einsenkung der Pfähle wurde als blockiert definiert.

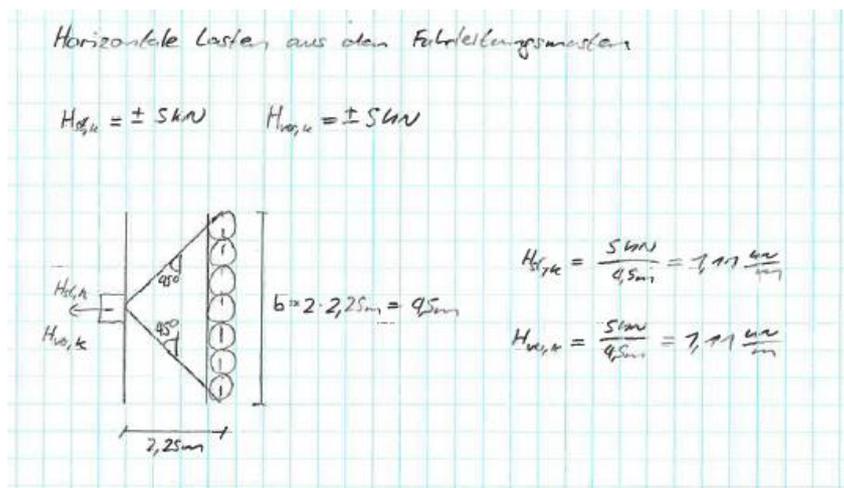
Die Struktur des Berechnung Modells ist in Anhang A1 zu sehen.

Die Lasten aus den Fahrleitungsmasten werden als ungünstigster Fall in der Mitte zwischen zwei Einzelpfählen angesetzt. Da im Programm Cedrus-7 die horizontalen Kräfte aus den Fahrleitungsmasten nicht angesetzt werden können, werden diese für die Bemessung der Betonplatte und der Vorfabrikation vernachlässigt.

Die Lasten aus dem Schmalspurbahnverkehr, die in Querrichtung trapezförmig verteilt sind, wurden im Cedrus-7 als abgestufte Flächenlasten angesetzt. Es werden dabei zwei verschiedene Laststellungen der Schmalspurbahnlasten betrachtet. Bei der Ersten befinden sich die Einzellasten in der Mitte zwischen zwei Einzelpfählen und bei der Zweiten auf der Höhe eines Einzelpfahls. Dieselben Laststellungen werden beim Entgleisungsmodell 1 betrachtet.

Die Bohrpfehlwand wurde im Programm Larix-7 bemessen. Die bemessene Auflagerkraft aus der Bemessung der Vorfabrikation und der Ortsbetonplatte im Programm Cedrus-7 wurde dabei als vertikale Kraft angesetzt, die auf den Pfahlkopf wirkt. Der Lastfaktor für diese Einwirkung wurde gleich 1 gesetzt, da die Einwirkungen, welche diese vertikale Last verursachen, schon bei der Berechnung im Programm Cedrus-7 mit den entsprechenden Lastfaktoren multipliziert wurden.

Die horizontalen Lasten aus den Fahrleitungsmasten wurden für die Bemessung der Bohrpfehlwand berücksichtigt.



Für die Einzelpfähle wurde mittels der Berechnung des äusseren Tragwiderstandes, die benötigte Einbindetiefe von Hand bemessen.

## **5.2 Nachweis Tragsicherheit**

Der Biege- und der Querkraftnachweis der Platte erfolgten mit den Schnittkräften aus dem Programm Cedrus-7 von Hand.

Die Bemessung der Bohrpfahlwand auf Biegung und Schub erfolgt im Programm Fagus-7 anhand der im Programm Larix-7 ermittelten Schnittkräfte.

Die äussere Tragsicherheit der Bohrpfahlwand und der Einzelpfähle erfolgt ebenfalls von Hand.

## 6 Vorfabrikation und Ortsbetonplatte

Die Vorfabrikation und die Ortsbetonplatte wurden als monolithische Stahlbetonplatte mit einer Dicke von 0.5 m modelliert. Es ist darauf zu achten, dass der Verbund zwischen der Vorfabrikation und der Ortsbetonplatte sichergestellt ist. Für die Brüstung wurde ebenfalls die erforderliche Mindestbewehrung berechnet.

### 6.1 Tragsicherheit

#### 6.1.1 Mindestbewehrung

##### 6.1.1.1 Biegung

**Platte:**

$$\sigma_{s,adm} = 435 \frac{N}{mm^2} \leq f_{sd} \quad \text{Verhindern spröden Versagen beim Erreichen von } f_{cd}$$

Querschnittsgeometrie:  $h_c = 0.5m$   $b_c = 1m$  (Mindestbewehrung pro Meter)

Faktor zur Berücksichtigung der Abmessungen:  $t_c = \frac{h_c}{3}$

$$k_t = \frac{1}{1+0.5*t_c} = \frac{1}{1+0.5*\frac{0.5m}{3}} = 0.92$$

Bemessung der Betondruckfestigkeit:  $f_{ctd} = k_t * f_{ctm} = 0.92 * 2.9 \frac{N}{mm^2} = 2.7 \frac{N}{mm^2}$

Widerstandsmoment:  $W_c = \frac{b_c * h_c^2}{6} = \frac{1m * (0.5m)^2}{6} = 0.042m^3$

Rissmoment:  $m_{cr} = W_c * f_{ctd} = 113.4kNm$

Erwartete Bewehrung:  $\varnothing = 12mm$   $d = 500mm - 55mm - 6mm = 439mm$

Mindestbewehrung Biegung:  $A_{s,min,Biegung} = \frac{f_{ctd} * W_c}{\sigma_{s,adm} * 0.9 * d} = 660 \frac{mm^2}{m}$

Erforderliche Mindestbewehrung muss sowohl in Längs- wie auch in Querrichtung eingelegt werden.

#### **Brüstung: Vertikale Mindestbewehrung**

$$\sigma_{s,adm} = 435 \frac{N}{mm^2} \leq f_{sd} \quad \text{Verhindern spröden Versagen beim Erreichen von } f_{cd}$$

Querschnittsgeometrie:  $h_c = 0.45m$   $b_c = 1m$

Faktor zur Berücksichtigung der Abmessungen:  $t_c = \frac{h_c}{3}$

$$k_t = \frac{1}{1+0.5 \cdot t_c} = \frac{1}{1+0.5 \cdot \frac{0.45m}{3}} = 0.93$$

Bemessung der Betondruckfestigkeit:  $f_{ctd} = k_t \cdot f_{ctm} = 0.93 \cdot 2.9 \frac{N}{mm^2} = 2.7 \frac{N}{mm^2}$

Widerstandsmoment:  $W_c = \frac{b_c \cdot h_c^2}{6} = \frac{1m \cdot (0.45m)^2}{6} = 0.03m^3$

Rissmoment:  $m_{cr} = W_c \cdot f_{ctd} = 81kNm$

Erwartete Bewehrung:  $\varnothing = 12mm$   $d = 450mm - 55mm - 6mm = 389mm$

Mindestbewehrung Biegung:  $A_{s,min,Biegung} = \frac{f_{ctd} \cdot W_c}{\sigma_{s,adm} \cdot 0.9 \cdot d} = 532 \frac{mm^2}{m}$

### 6.1.1.2 Begrenzung von Rissbreiten beim Erreichen von $f_{ctd}$ für erhöhte Anforderungen

#### Platte

Nominelle Rissbreite:  $w_{nom} = 0.5mm$  SIA 262-C1, Tabelle 17

Annahme für die Bewehrung:  $\varnothing 22$

Zulässige Spannungen zur Begrenzung der nominellen Rissbreite zum Zeitpunkt der Rissbildung:

$$\sigma_{s,adm} = \sqrt{\frac{9 \cdot E_s \cdot f_{ctm} \cdot w_{nom}}{\varnothing}} = 350 \frac{N}{mm^2}$$

Mindestbewehrung Begrenzung der Rissbreiten:

$$A_{s,min,Rissbreiten} = \frac{A_c \cdot f_{ctd}}{\sigma_{s,adm}} = \frac{500'000mm^2 \cdot 2.7 \frac{N}{mm^2}}{350 \frac{N}{mm^2}} = 3857 \frac{mm^2}{m}$$

Gewählte Bewehrung für die 2. und 3. Lage:  $\varnothing 22$ ;  $s=150mm$   $A_{s,pro Lage} = 2540 \frac{mm^2}{m}$

#### Brüstung: Horizontale Mindestbewehrung

Nominelle Rissbreite:  $w_{nom} = 0.5mm$  SIA 262-C1, Tabelle 17

Annahme für Bewehrung:  $\varnothing 16$

Zulässige Spannungen zur Begrenzung der nominellen Rissbreite zum Zeitpunkt der Rissbildung:

$$\sigma_{s,adm} = \sqrt{\frac{9 * E_s * f_{ctm} * w_{nom}}{\emptyset}} = 409 \frac{N}{mm^2}$$

Mindestbewehrung Begrenzung der Rissbreiten:

$$A_{s,min,Rissbreiten} = \frac{A_c * f_{ctd}}{\sigma_{s,adm}} = \frac{315'000mm^2 * 2.6 \frac{N}{mm^2}}{409 \frac{N}{mm^2}} = 2002 \frac{mm^2}{m}$$

Gewählte Bewehrung: Ø16; s=150 mm  $A_{s,pro Lage} = 1340 \frac{mm^2}{m}$

### 6.1.1.3 Verhindern eines Fließens der Bewehrung für häufige Lastfälle

$$\sigma_s \leq f_{sd} - 80 \frac{N}{mm^2} = 355 \frac{N}{mm^2} \quad \text{SIA 262-C1 Tab. 17 für erhöhte Anforderungen}$$

Anhang A13 und A14

Bewehrung 1. Lage:

$$A_{s,y,unten} = \frac{m_{y,unten}}{0.8 * h * f_{sd}} = \frac{35 \frac{kNm}{m}}{0.8 * 500mm * 355 \frac{N}{mm^2}} = 246 \frac{mm^2}{m}$$

Bewehrung 2. Lage:

$$A_{s,x,unten} = \frac{m_{x,unten}}{0.8 * h * f_{sd}} = \frac{63 \frac{kNm}{m}}{0.8 * 500mm * 355 \frac{N}{mm^2}} = 444 \frac{mm^2}{m}$$

Bewehrung 3. Lage:

$$A_{s,x,oben} = \frac{m_{x,oben}}{0.8 * h * f_{sd}} = \frac{36 \frac{kNm}{m}}{0.8 * 500mm * 355 \frac{N}{mm^2}} = 254 \frac{mm^2}{m}$$

Bewehrung 4. Lage:

$$A_{s,y,oben} = \frac{m_{y,oben}}{0.8 * h * f_{sd}} = \frac{59 \frac{kNm}{m}}{0.8 * 500mm * 355 \frac{N}{mm^2}} = 415 \frac{mm^2}{m}$$

## 6.1.2 Grenzzustand Typ 2

### 6.1.2.1 Massgebende Schnittkräfte in der Platte

Die Einwirkungskombinationen sind in Anhang A9 ersichtlich. Die Schnittkräfte für den GZT 2 sind in Anhang A9 und A10 zu sehen. Für den GZT 2 Entgleisung sind die Schnittkräfte in Anhang A11 und A12 dargestellt.

Bemessungs- situation / Schnittkräfte	GZT 2	GZT 2 Entgleisung
$m_{x,oben}$	$-50 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$	$-70 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$
$m_{y,oben}$	$-98 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$	$-62 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$
$m_{x,unten}$	$95 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$	$94 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$
$m_{y,unten}$	$57 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$	$43 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$
$V_{Ed,max}$	$104 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$100 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

### 6.1.2.2 Biegnachweis

#### Unteres Bewehrungsmoment in y-Richtung

$$A_{s,y,unten} = \frac{m_{y,unten}}{0.8 * h * f_{sd}} = \frac{60 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}}{0.8 * 500\text{mm} * 435 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 345 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Bewehrung 1.Lage:  $\varnothing 10$  s=150  $\Rightarrow A_{s,y,unten} = 523 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$

Beschränkung der Druckzonenhöhe:

$$x = \frac{A_s * f_{sd}}{0.85 * b * f_{cd}} = \frac{523 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} * 435 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0.85 * 1000\text{mm} * 20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 13\text{mm} \leq \frac{d_v}{2} = 220\text{mm} \rightarrow i. O.$$

#### Unteres Bewehrungsmoment in x-Richtung

$$A_{s,x,unten} = \frac{m_{x,unten}}{0.8 * h * f_{sd}} = \frac{95 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}}{0.8 * 500\text{mm} * 435 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 550 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$\text{Bewehrung 2.Lage: } \varnothing 12 \text{ s}=150 \Rightarrow A_{s,x,unten} = 754 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Beschränkung der Druckzonenhöhe:

$$x = \frac{A_s * f_{sd}}{0.85 * b * f_{cd}} = \frac{754 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} * 435 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0.85 * 1000\text{mm} * 20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 20\text{mm} \leq \frac{d_v}{2} = 209\text{mm} \rightarrow i. O.$$

### Oberes Bewehrungsmoment in x-Richtung

$$A_{s,x,oben} = \frac{m_{x,oben}}{0.8 * h * f_{sd}} = \frac{70 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}}{0.8 * 500\text{mm} * 435 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 290 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$\text{Bewehrung 3.Lage: } \varnothing 8 \text{ s}=150 \Rightarrow A_{s,x,oben} = 335 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Beschränkung der Druckzonenhöhe:

$$x = \frac{A_s * f_{sd}}{0.85 * b * f_{cd}} = \frac{335 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} * 435 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0.85 * 1000\text{mm} * 20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 9\text{mm} \leq \frac{d_v}{2} = 209\text{mm} \rightarrow i. O.$$

### Oberes Bewehrungsmoment in y-Richtung

$$A_{s,y,oben} = \frac{m_{y,oben}}{0.8 * h * f_{sd}} = \frac{57 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}}{0.8 * 500\text{mm} * 435 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 330 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$\text{Bewehrung 4.Lage: } \varnothing 8 \text{ s}=150 \Rightarrow A_{s,x,oben} = 335 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Beschränkung der Druckzonenhöhe:

$$x = \frac{A_s * f_{sd}}{0.85 * b * f_{cd}} = \frac{335 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} * 435 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0.85 * 1000\text{mm} * 20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 9\text{mm} \leq \frac{d_v}{2} = 220\text{mm} \rightarrow i. O.$$

### 6.1.2.3 Querkraftnachweis

Es wird in der Bemessung davon ausgegangen, dass die Biegebewehrung der Platte vollständig durch die Biegung ausgelastet wird. Dadurch muss der Querkraftwiderstand des Betons abgemindert werden. Der Nachweis erfolgt gemäss SIA 262 4.4.4.2.1 und 4.3.3.2.2.

$$V_{Rd} = k_d * \tau_{cd} * d_v$$

$$k_d = \frac{1}{1 + \varepsilon_v * d * k_g} = \frac{1}{1 + 0.212 * 390 * 1.5} = 0.45$$

$$k_g = \frac{48}{16 + D_{max}} = \frac{48}{16 + 16} = 1.5$$

$$\varepsilon_v = \frac{f_{sd}}{E_s} * \frac{m_d}{m_{Rd}} = \frac{435}{205'000} * \frac{1}{1} = 0.212\%$$

$$d = d_v = 390mm$$

$$\tau_{cd} = 1.1 \frac{N}{mm^2}$$

$$V_{Rd} = 0.45 * 1.1 \frac{N}{mm^2} * 390mm = 193 \frac{kN}{m} \geq V_{Ed,max} = 105 \frac{kN}{m} \rightarrow i. O$$

In der Platte, die aus der Vorfabrikation und der Ortsbetonplatte besteht, ist keine Schubbewehrung notwendig.

### 6.1.3 Grenzzustand Typ 4: Ermüdung

Der Ermüdungsnachweis wird nur für die Bewehrungslage mit der grössten Spannungsdifferenz durchgeführt. Diese tritt in der 4. Lage der Bewehrung auf. Die Schnittkräfte für die ständigen und veränderlichen Einwirkungen sind in Anhang A12 zu sehen.

Gewählte Bewehrung für die 4 Lage: Ø16; s=150mm  $A_{s,pro\ Lage} = 1340 \frac{mm^2}{m}$

Schnittkräfte aus ständigen Einwirkungen:

$$m_{yt,min} = -35 \frac{kNm}{m} \quad N_{Ed,min} = 0 \frac{kN}{m}$$

Schnittkräfte aus ständigen und veränderlichen Einwirkungen:

$$m_{yt,max} = -70 \frac{kNm}{m} \quad N_{Ed,max} = 0 \frac{kN}{m}$$

Maximale Spannung in den Bewehrungsstäben:

$$\sigma_{sd,min} = \frac{m_{yt,min}}{A_s * 0.9d} = 70 \frac{N}{mm^2}$$

Maximale Spannung in den Bewehrungsstäben:

$$\sigma_{sd,max} = \frac{m_{yt,max}}{A_s * 0.9d} = 139 \frac{N}{mm^2}$$

Spannungsdifferenz:

$$\Delta\sigma_{sd} = \sigma_{sd,max} - \sigma_{sd,min} = 79 \frac{N}{mm^2}$$

**Ermüdungsnachweis für den Bewehrungsstahl (Dauerfestigkeit):**

$$\Delta\sigma_{sd} = 79 \frac{N}{mm^2} \leq \Delta\sigma_{sd,D} = 0.8 * \Delta\sigma_{sd,fat} = 0.8 * 120 \frac{N}{mm^2} = 96 \frac{N}{mm^2} \rightarrow i. O.$$

Der Ermüdungsnachweis für den Bewehrungsstahl ist erfüllt.

**Ermüdungsnachweis für den Beton (für Platten ohne Querkraftbewehrung):**

$$V_{Ed,min} = 35 \frac{kN}{m} \qquad V_{Ed,max} = 74 \frac{kN}{m} \qquad \text{Anhang A12 und A13}$$

Querkraftwiderstand:  $V_{Rd} = 193 \frac{kN}{m}$

$$\frac{V_{Ed,min}}{V_{Ed,max}} = 0.47 \geq 0.5 * V_{Rd} + 0.45 V_{st,Ed} = 112 \frac{kN}{m} \leq 0.9 * V_{Rd} = 174 \frac{kN}{m} \rightarrow i. O.$$

Der Ermüdungsnachweis für den Beton ist erfüllt.

## 6.2 Gebrauchstauglichkeit

Gebrauchsgrenzen für Schmalspurbahnbrücken:

$$w \leq \frac{l}{800} \quad \text{SIA 260 Tab. 14, für } v \leq 80 \text{ km/h}$$

$$\alpha_t = 1.0 \frac{\text{mrad}}{\text{m}} \quad \text{SIA 260 Tab. 14}$$

Für die Gebrauchsgrenze der Durchbiegung muss nur die Durchbiegung infolge der veränderlichen Leiteinwirkung betrachtet werden. Für die Gebrauchsgrenzen der Verwindung müssen ebenfalls nur die Durchbiegungen aus dem Lastmodell 4 berücksichtigt werden. Die Durchbiegung infolge des Lastmodells 4 ist in Anhang A13 zu sehen.

### Durchbiegung

Spannweite:

$$l = 5\text{m}$$

$$w_{\text{zul,häufig}} = \frac{l}{800} = 6.3\text{mm}$$

Rissmoment:

$$m_{cr} = W * f_{ctd}$$

Wandstärke:

$$t = 500\text{mm}$$

Wirksame Breite (Nachweis pro 1m):

$$b = 1\text{m}$$

Faktor zur Berücksichtigung der Abmessungen:

$$k_t = \frac{1}{1 + 0.5 * t} = 0.8$$

Mittelwert der Betonzugfestigkeit:

$$f_{ctm} = 2.9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Bemessungswert der Betonzugfestigkeit:

$$f_{ctd} = k_t * f_{ctm} = 2.32 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Widerstandsmoment:

$$W = \frac{b * t^2}{6} = 0.042\text{m}^3$$

$$m_{cr} = 0.042m^3 * 2.32 \frac{N}{mm^2} = 97.4kNm$$

Einwirkendes Moment:

$$m_{Ed} = 98kNm$$

$$m_{Ed} \geq m_{cr} \rightarrow \text{Beton} = \text{"gerissener Zustand"}$$

Durchbiegung im ungerissenen Zustand infolge häufiger Lastfälle (Durchbiegung infolge LM 1):

$$w_c = 0.02mm$$

Kriechzahl:

$$\varphi = 2.0$$

$$w_{c\varphi} = w_{c,st}(1 + \varphi) = 0.02mm(1 + 2.0) = 0.06mm$$

Verformungen im gerissenen Zustand mit Berücksichtigung des Kriechens (Verformungen infolge LM 1):

$$w = \frac{1-20\rho'}{10*\rho^{0.7}} (0.75 + 0.1\varphi) \left(\frac{h}{d}\right)^3 w_c \quad \text{SIA 262 4.4.3.2.5}$$

$$h = t$$

Gewählte Bewehrung in der Zugzone:

$$a_{s,zug} = 2540mm^2$$

Gewählte Bewehrung in der Druckzone:

$$a_{s,druck} = 2540mm^2$$

Statische Höhe:

$$d = t_c - c_{nom} - \frac{d_L}{2} - d_Q = 418mm$$

Geometrischer Bewehrungsgehalt der Zugzone.

$$\rho = \frac{a_{s,zug}}{b * d} = 0.005$$

Geometrischer Bewehrungsgehalt der Druckzone.

$$\rho' = \frac{a_{s,druck}}{b * d} = 0.005$$

Verformungen:

$$w = \frac{1 - 20 * 0.005}{10 * 0.005^{0.7}} (0.75 + 0.1 * 2) \left( \frac{0.5m}{0.418m} \right)^3 0.02mm = 0.12mm$$

$$w = w_{st} + w_{ver}$$

Durchbiegung im gerissenen Zustand mit Berücksichtigung des Kriechens:

$$w_{erwartende\ Verformung} = \frac{w + w_c}{2} = 0.09mm \leq w_{zul,h\u00e4ufig} = 6.3mm$$

Nachweis i.O

### **Verwindung**

Die Verwindung zwischen dem Auflagerpunkt bei den Einzelpf\u00e4hlen und der Feldmitte, darf 2.5mm betragen. Mit der vorhandenen Durchbiegung von 0.02mm in der Feldmitte kann dieser Grenzwert eingehalten werden.

## 7 Bohrpfahlwand

Die Bemessung der Bohrpfahlwand erfolgte im Programm Larix-7 und Fagus-7. Auf die Bohrpfahlwand wirkt aus der Betonplatte eine Normalkraft von 402 kN. Da die Platte als frei Aufgelegt modelliert wurde, werden keine Momente zwischen der Platte und der Bohrpfahlwand übertragen. Für die Pfähle wird gemäss SIA 267 9.6.3.2.6 eine Überdeckung der Bewehrung von 60 mm angesetzt.

### 7.1 Tragsicherheit

#### 7.1.1 Mindestbewehrung

Die Längsbewehrung eines Pfahls muss gemäss SIA 267 9.6.3.2.3 aus mindestens 6 über den Umfang gleichmässig verteilten Stäben mit minimal 12 mm Durchmesser bestehen und einen Bewehrungsgehalt von mindestens  $\rho=0.3\%$  haben. Der lichte Abstand zwischen den Stäben darf das Dreifache des Grösstkorns des eingebrachten Betons bzw. 0.1 m nicht unterschreiten. Mit einem  $D_{\max}$  von 16 mm wird der Mindestabstand von 0.1 m massgebend.

Für die Schubbewehrung soll der Abstand gemäss SIA 267 9.6.3.2.4 nicht grösser als 0.4 m sein.

$$A_{s,l\ddot{a}ngs} = \rho * A_c = 0.003 * \pi * (0.5m)^2 = 2356mm^2$$

#### 7.1.2 Grenzzustand Typ 2

##### 7.1.2.1 Einbindetiefe

Die erforderliche Einbindetiefe wurde im Programm Larix-7 berechnet. Das Baugrundmodell ist in Anhang B1 ersichtlich.

Die Einbindetiefe ist ab dem Niveau der Flusssohle gerechnet. Beim massgebenden Schnitt hat die Pfahlwand oberhalb der Flusssohle eine Länge von 2 m.

Einbindetiefe:  $t = 5.6m$

Pfahllänge:  $L = t + 2m = 7.6m$

##### 7.1.2.2 Innerer Tragwiderstand

Die notwendige Längs- und Querbewehrung wurden direkt mit dem Programm Larix-7 bestimmt. Die Resultate der Berechnung sind in Anhang B7 und B8 ersichtlich. Die erhaltenen Werte wurden im Programm Fagus-7 überprüft. Ebenfalls im Programm Fagus-7 wurde die Anordnung der Bewehrungsstäbe bestimmt. Die Berechnung ist in Anhang D1 und D2 ersichtlich.

Längsbewehrung:  $A_{s,l\ddot{a}ngs,ben\ddot{o}tigt} = 4200mm^2$

13 Ø22; s=220  $A_{s,l\ddot{a}ngs} = 4942mm^2$

Schubbewehrung.  $A_{s,Schub,ben\ddot{o}tigt} = 700 \frac{mm^2}{m}$

$$(2) \text{ } \varnothing 10; s=220 \quad A_{s, \text{Schub}} = 700 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

### 7.1.3 Äusserer Tragwiderstand

Für die Abschätzung des äusseren Tragwiderstandes bei der bemessenen Einbindetiefe wurden die Pfähle der Pfahlwand als Einzelpfähle betrachtet.

Bei der Berechnung des äusseren Widerstandes eines Pfahles wurde nur der Spitzenwiderstand beachtet. Die Mantelreibung wurde vernachlässigt. Zudem wurde die Kohäsion vernachlässigt. Da für den Spitzenwiderstand keine genauen Werte vorhanden sind, wurde der Spitzenwiderstand mit einer Formel von Lang et. al. (2010)<sup>3</sup>

$$\text{Spitzenwiderstand:} \quad Q_s = A * \sigma'_v * N_q * x = \frac{\pi * D^2}{4} * h * \gamma' * N_q * x$$

Pfahldurchmesser:  $D=1 \text{ m}$

$$\text{Spezifisches Raumgewicht Boden: } \gamma' = 11 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Tragfähigkeitsfaktor: } N_q = 46 \quad \text{für } \varphi = 36^\circ$$

Einbindetiefe:  $h=5.6 \text{ m}$

Kombinierter Form- und Tiefenfaktor:  $x=2.5$

$$Q_s = \frac{\pi * (1\text{m})^2}{4} * 5.6\text{m} * 11 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 46 * 2.5 = 5564\text{kN}$$

$$\text{Tragwiderstand:} \quad R_{Ad} = \frac{\eta_a * Q_s}{\gamma_{Ma}} = \frac{0.7 * 5564\text{kN}}{1.3} = 2996\text{kN}$$

$$\eta_a = 0.7 \quad \text{SIA 267 9.5.2.2.5} \quad \gamma_{Ma} = 1.3 \quad \text{SIA 267 9.5.2.2.4}$$

Einwirkung:

$$E_d = N_{\text{Pfahlkopf}} + N_{\text{Pfahleigenlast}} = 552\text{kN}$$

$$N_{\text{Pfahlkopf}} = 402\text{kN}$$

$$N_{\text{Pfahleigenlast}} = A_{\text{Pfahl}} * l_{\text{Pfahl}} * \gamma_{\text{Beton}} = \frac{\pi * (1\text{m})^2}{4} * 7.6\text{m} * 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 150\text{kN}$$

$$R_{Ad} = 2997\text{kN} \geq E_d = 552\text{kN}$$

Mit der berechneten Einbindetiefe von 7.6 m kann die Normalkraft auf den Pfahlkopf problemlos aufgenommen werden.

<sup>3</sup> Lang H.J., Huder J., Amann P., und Puzrin A.J.: Bodenmechanik und Grundbau, 9.Auflage.

### **Gebrauchstauglichkeit**

Eine horizontale Auslenkung des Pfahlkopfes überträgt sich auf die Betonplatte und somit auch auf die Konsole vom Fahrleitungsmasten. Die maximale zulässige Schiefstellung aus ständigen und veränderlichen Lasten für Fahrleitungsfundamente beträgt:

$$u_{quasi\ st\ a\ n\ d\ i\ g} = u_{h\ a\ u\ f\ i\ g} \leq \min\left(20\text{mm}, \frac{7600\text{mm}}{100}\right) = 20\text{mm}$$

Die horizontale Auslenkung am Kopf der Bohrpfahlwand wird durch die Einzelpfähle verhindert. Deshalb kann eine Überschreitung der maximal zulässigen Schiefstellung ausgeschlossen werden.

## 8 Einzelpfähle

Die Bemessung der Einzelpfähle erfolgte von Hand. Auf die Einzelpfähle wirkt aus der Betonplatte ein vertikale Kraft von 230 kN. Da die Betonplatte auf den Einzelpfählen frei aufgelegt ist, wird kein Moment auf die Einzelpfähle übertragen. Die horizontalen Kräfte aus der Betonplatte werden von der Pfahlwand aufgenommen. Dadurch sind die Einzelpfähle nur auf Druck beansprucht.

Für die Einzelpfähle wird wie für die Pfähle der Pfahlwand eine Überdeckung der Bewehrung von 60 mm angesetzt.

### 8.1 Tragsicherheit

#### 8.1.1 Mindestbewehrung

Die Längsbewehrung eines Pfahls muss gemäss SIA 267 9.6.3.2.3 aus mindestens 6 über den Umfang gleichmässig verteilten Stäben mit minimal 12 mm Durchmesser bestehen und einen Bewehrungsgehalt von mindestens  $\rho=0.3\%$  haben. Der lichte Abstand zwischen den Stäben darf das Dreifache des Grösstkorns des eingebrachten Betons bzw. 0.1 m nicht unterschreiten. Mit einem  $D_{\max}$  von 16 mm wird der Mindestabstand von 0.1 m massgebend.

$$A_{s,l\ddot{a}ngs} = \rho * A_c = 0.003 * \pi * (0.5m)^2 = 2356mm^2$$

Gewählte Bewehrung:  $a_{s,vorh} = 2513 \text{ mm}^2$  8 Ø20 s=390

#### 8.1.2 Grenzzustand Typ 2

#### 8.1.3 Innerer Tragwiderstand

Da die Einzelpfähle weder auf Biegung noch auf Schub beansprucht werden, kann als Längsbewehrung die Mindestbewehrung eingelegt werden. Eine Schubbewehrung ist nicht notwendig.

#### 8.1.4 Äusserer Tragwiderstand

Bei der Berechnung des äusseren Widerstandes eines Pfahles wurde nur der Spitzenwiderstand beachtet. Die Mantelreibung wurde vernachlässigt. Zudem wurde die Kohäsion vernachlässigt. Da für den Spitzenwiderstand keine genauen Werte vorhanden sind, wurde der Spitzenwiderstand mit einer Formel von Lang et. al. (2010)<sup>4</sup>

Spitzenwiderstand:  $Q_s = A * \sigma'_v * N_q * x = \frac{\pi * D^2}{4} * h * \gamma' * N_q * x$

Pfahldurchmesser:  $D=1 \text{ m}$

Spezifisches Raumgewicht Boden:  $\gamma' = 11 \frac{kN}{m^3}$

Tragfähigkeitsfaktor:  $N_q = 46$  für  $\varphi = 36^\circ$

<sup>4</sup> Lang H.J., Huder J., Amann P., und Puzrin A.J.: Bodenmechanik und Grundbau, 9.Auflage.

Einbindetiefe:  $h=?$

Kombinierter Form- und Tiefenfaktor:  $x=2$  (minimaler Wert für  $h=2$  m &  $D=1$  m)

$$Q_s = \frac{\pi * (1m)^2}{4} * h * 11 \frac{kN}{m^3} * 46 * 2 = 799.5 \frac{kN}{m} * h$$

Tragwiderstand:  $R_{Ad} = \frac{\eta_a * Q_s}{\gamma_{Ma}}$

$\eta_a = 0.7$       SIA 267 9.5.2.2.5       $\gamma_{Ma} = 1.3$       SIA 267 9.5.2.2.4

Einwirkung:

$$E_d = N_{Pfahlkopf} + N_{Pfahleigenlast}$$

$$N_{Pfahlkopf} = 230kN$$

$$N_{Pfahleigenlast} = A_{Pfahl} * l_{Pfahl} * \gamma_{Beton} = \frac{\pi * (1m)^2}{4} * (2m + h) * 25 \frac{kN}{m^3} = 39.2kN + 19.6 \frac{kN}{m} * h$$

$$R_{Ad} = \frac{0.7 * 799.5 \frac{kN}{m} * h}{1.3} = E_d = 230kN + 39.2kN + 19.6 \frac{kN}{m} * h$$

$$h = 0.66m$$

Um den benötigten Spitzenwiderstand zu gewährleisten muss die Einbindetiefe ab Niveau Flusssohle nur 0.66 m betragen. Da es zu Kolkbildung in der Flusssohle kommen kann, wird die Einbindetiefe der Einzelpfähle auf 2 m angesetzt. Somit ergibt sich eine **Pfahlänge von 4 m.**

## 9 Gewählte Bewehrung

### Betonplatte

In Längsrichtung der Platte  $a_{s \text{ vorh } 2. \text{ Lage}} = 2540 \text{ mm}^2/\text{m } \varnothing 22 \text{ s}=150$

$a_{s \text{ vorh } 3. \text{ Lage}} = 2540 \text{ mm}^2/\text{m } \varnothing 22 \text{ s}=150$

In Querrichtung der Platte  $a_{s \text{ vorh } 1. \text{ Lage}} = 1340 \text{ mm}^2/\text{m } \varnothing 16 \text{ s}=150$

$a_{s \text{ vorh } 4. \text{ Lage}} = 1340 \text{ mm}^2/\text{m } \varnothing 16 \text{ s}=150$

### Brüstung Vorfabrikation

Vertikale Bewehrung:  $a_{s \text{ vorh } \text{ vertikal}} = 1340 \text{ mm}^2/\text{m } \varnothing 16 \text{ s}=150$

Horizontale Bewehrung  $a_{s \text{ vorh } \text{ horizontal}} = 1340 \text{ mm}^2/\text{m } \varnothing 16 \text{ s}=150$

### Pfahlwand

Längsbewehrung  $a_{s \text{ vorh}} = 4942 \text{ mm}^2 \text{ 13 } \varnothing 22 \text{ s}=220$

Schubbewehrung  $a_{s \text{ vorh } \text{ oben}} = 700 \text{ mm}^2/\text{m } (2) \varnothing 10 \text{ s}=220$

### Einzelpfähle

Längsbewehrung  $a_{s \text{ vorh}} = 2513 \text{ mm}^2 \text{ 8 } \varnothing 20 \text{ s}=390$

Schubbewehrung  $a_{s \text{ vorh } \text{ oben}} = 700 \text{ mm}^2/\text{m } (2) \varnothing 10 \text{ s}=220$

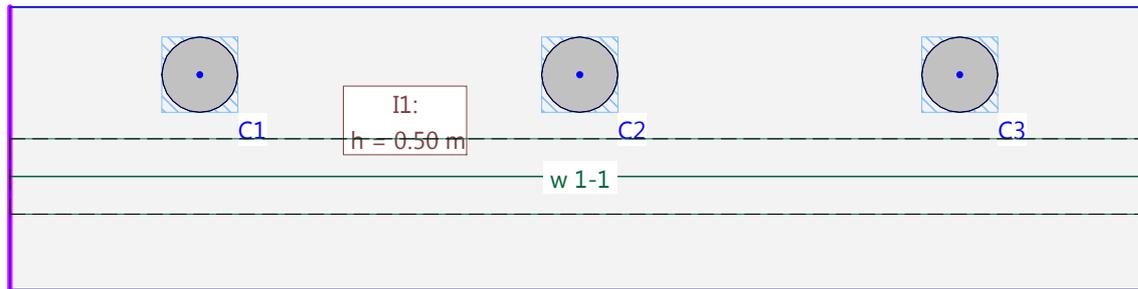
Sowohl für die Einzelpfähle sowie auch für die Pfahlwand wird der Abstand der Schubbewehrung am oberen und unteren Ende der Pfähle jeweils auf 100 mm vermindert. Diese Verminderung des Abstandes wird jeweils im obersten und im untersten Viertel der Pfähle ausgeführt.



## Anhang

STRUKTUR

Mstb. 1 :100.0



STRUKTURDATEN

BAUSTOFFE Norm: SIA

ID	Typ	Bauteil	E [kN/mm <sup>2</sup> ]	v	ρ [t/m <sup>3</sup> ]	α [%]	Klasse	f [N/mm <sup>2</sup> ]	
C	Beton	(allgemein)	32.10	0.17	2.50	0.010	C25/30	-25.00	-η <sub>fc</sub> f <sub>ck</sub>
CC	Beton	Stütze	33.60	0.17	2.50	0.010	C30/37	-30.00	-η <sub>fc</sub> f <sub>ck</sub>
CP	Beton	Pfahl	33.60	0.17	2.50	0.010	C30/37	-30.00	-η <sub>fc</sub> f <sub>ck</sub>
R	Betonstahl	(allgemein)	205.00	0.30	8.00	0.012	B500B	500.00	f <sub>sk</sub>
RP	Betonstahl	Pfahl	205.00	0.30	8.00	0.012	B500B	500.00	f <sub>sk</sub>

MATERIALBOXEN: Isotrop

Id	Geometrie		f <sub>E</sub>	Baustoffe	
	Plattendicke [m]	Kote Oberkante [m]		Körper	Bewehrung
I1	0.50	0.50	1.000	CC	R

MATERIALBOXEN: Randabstände u. Grundbewehrungen

Id	Randabstände der Bewehrung				Grundbewehrung			
	u <sub>XT</sub> [cm]	u <sub>YT</sub> [cm]	u <sub>XB</sub> [cm]	u <sub>YB</sub> [cm]	as <sub>XT</sub> [cm <sup>2</sup> /m]	as <sub>YT</sub> [cm <sup>2</sup> /m]	as <sub>XB</sub> [cm <sup>2</sup> /m]	as <sub>YB</sub> [cm <sup>2</sup> /m]
I1	6.2	5.5	6.2	5.5	-	-	-	-

MATERIALBOXEN: Zusätzliche Bewehrungsdaten

Id	Typ	Stabdurchmesser				As vorgegeben				Stababstand			
		∅ <sub>XT</sub> [mm]	∅ <sub>YT</sub> [mm]	∅ <sub>XB</sub> [mm]	∅ <sub>YB</sub> [mm]	As <sub>XT</sub> [cm <sup>2</sup> /m]	As <sub>YT</sub> [cm <sup>2</sup> /m]	As <sub>XB</sub> [cm <sup>2</sup> /m]	As <sub>YB</sub> [cm <sup>2</sup> /m]	s <sub>XT</sub> [cm]	s <sub>YT</sub> [cm]	s <sub>XB</sub> [cm]	s <sub>YB</sub> [cm]
I1	Durchmesser	0	0	0	0	-	-	-	-	15.0	15.0	15.0	15.0

STÜTZEN - Struktur

Id	Typ	Querschnitt	Geometrie		Position		
			dx [m]	dy [m]	X [m]	Y [m]	wx [°]
C1	Pfahl	P_1000	1.00	1.00	0.50	1.35	0
C2	Pfahl	P_1000	1.00	1.00	5.50	1.35	0
C3	Pfahl	P_1000	1.00	1.00	10.50	1.35	0

STÜTZEN - Struktur 3D

Id	Höhe [m]	Geometrie		Lastweiterleitung	
		Schief x [m]	Schief y [m]	mit EG	Zusatzmasse [t/m]
C1	3.25			Ja	0
C2	3.25			Ja	0
C3	3.25			Ja	0

STÜTZEN - FE-Modell

Id	Typ		Sdz [kN/m]	Lagerung		du [m]	Gestützte Zone		
	Beschreibung	Nicht Lin.		Srx [kNm]	Sry [kNm]		dv [m]	wu [°]	wv [°]
C1	Fläche	Nein	blockiert	frei	frei	1.00	1.00	0	90.000
C2	Fläche	Nein	blockiert	frei	frei	1.00	1.00	0	90.000
C3	Fläche	Nein	blockiert	frei	frei	1.00	1.00	0	90.000

Nr.:

**STÜTZEN - Querschnitte**

Id	Typ	Baustoffe	Parameter [m]	Walzprofil
P_1000	Pfahl	CP, RP	D=1.	

**WÄNDE**

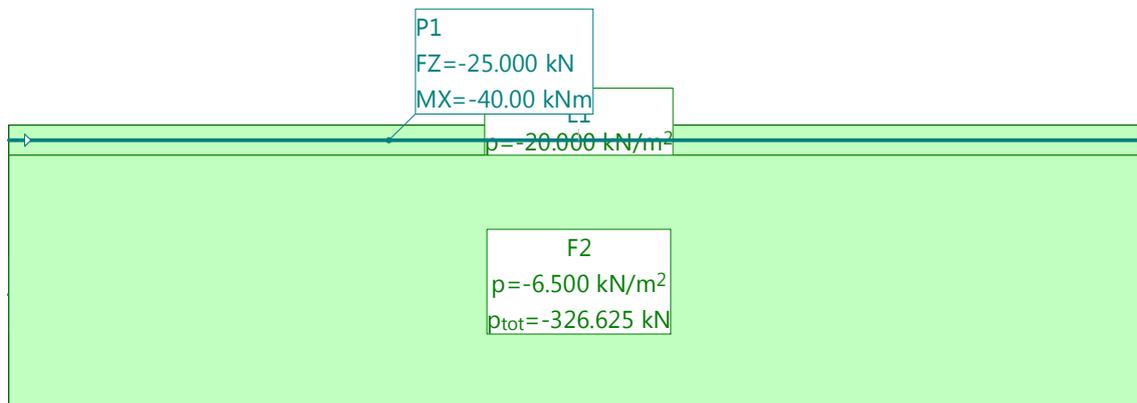
Id	Typ Beschreibung	N.Lin.	Lagerung			Geometrie		Baustoffe		
			sdz [kN/m <sup>2</sup> ]	srx [kN]	sry [kN]	Breite [m]	Höhe [m]	f <sub>E</sub> sdz	Körper	Bewehrung
W1	allgemein	Nein	blockiert	frei	frei	1.00	3.25	1.000	C	R

**SYMMETRIELINIEN**

Id	Anfang		Ende	
	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
L1	-2.00	2.25	-2.00	-1.50
L2	13.00	2.25	13.00	-1.50

BELASTUNG A : Auflast

Mstab. 1 : 100.0



**BELASTUNG A : Auflast**

**Flächenlast (Rechteck)**

ID	Geometrie				Fläche [m <sup>2</sup> ]	Last Wert [kN/m <sup>2</sup> ]	SubTotal Last Z [kN]
	X1 [m]	Y1 [m]	X2 [m]	Y2 [m]			
F1	-2.00	2.25	13.00	1.85	6.00	-20.000	-120.000
F2	-2.00	1.85	13.00	-1.50	50.25	-6.500	-326.625

**Linienlast**

ID	X [m]	Y [m]	Geometrie	Länge [m]	Last		SubTotal Last Z [kN]
					MI [kNm/m]	FZ [kN/m]	
L1	-2.00	2.05		15.00	0	-1.000	-15.000
	13.00	2.05			0	-1.000	
L2	-2.00	0		15.00	0	-6.500	-97.500
	13.00	0			0	-6.500	

**Punktlast**

ID	X [m]	Y [m]	Geometrie	Moment		SubTotal Last Z [kN]
				MX [kNm]	MY [kNm]	
P1	3.00	2.05		-40.00	0	-25.000

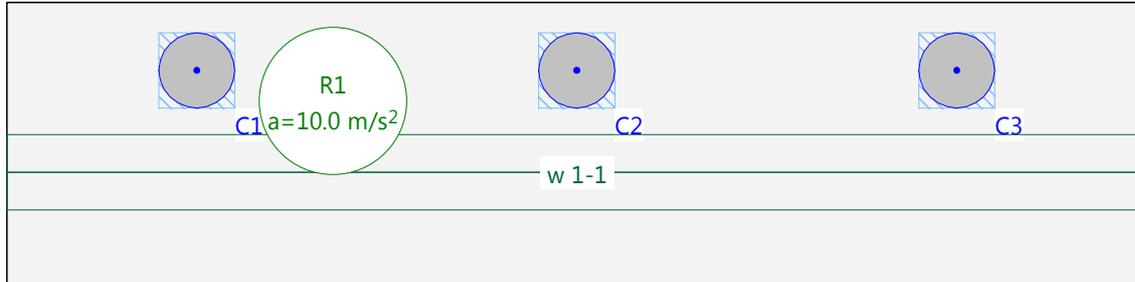
Nr.:

**Summe Z**

		Total Last [kN]
<b>Total</b>		<b>-584.125</b>

BELASTUNG EG : Eigengewicht

Mstb. 1 :100.0



**BELASTUNG EG : Eigengewicht**

**Eigenlast (Ganze Struktur)**

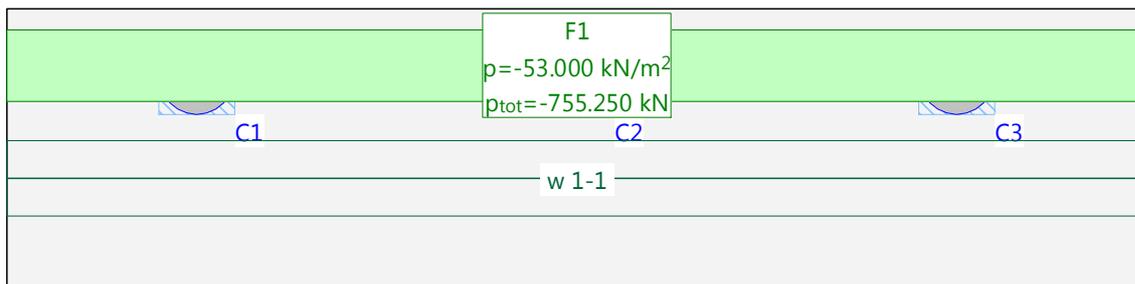
ID	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Geometrie Dicke [cm]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Last Masse [t]	SubTotal Last Z [kN]
R1	28.13	50.0	56.25	70.313	-703.125

**Summe Z**

		Total Last [kN]
<b>Total</b>		<b>-703.125</b>

BELASTUNG ELM2 : Entgleisungslastmodell 2

Mstb. 1 :100.0



**BELASTUNG ELM2 : Entgleisungslastmodell 2**

**Flächenlast (Rechteck)**

ID	X1 [m]	Y1 [m]	Geometrie X2 [m]	Y2 [m]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Last Wert [kN/m <sup>2</sup> ]	SubTotal Last Z [kN]
F1	-2.00	1.98	13.00	1.02	14.25	-53.000	-755.250

Nr.:

**Summe Z**

		Total Last [kN]
<b>Total</b>		<b>-755.250</b>

BELASTUNG ELM1a : Entgleisungslastmodell 1

Mstb. 1 :100.0

F1 p=-18.000 kN/m <sup>2</sup>	F3 100.000	F4 p=-100.000 kN	F2 p=-18.000 kN/m <sup>2</sup>
F5 p=-18.000 kN/m <sup>2</sup>	F6 100.000	F7 p=-100.000 kN	F8 p=-18.000 kN/m <sup>2</sup>
p <sub>tot</sub> =-58.140 kN	p <sub>tot</sub> =-90.2	p <sub>tot</sub> =-90.250 kN	p <sub>tot</sub> =-143.640 kN

**BELASTUNG ELM1a : Entgleisungslastmodell 1**

**Flächenlast (Rechteck)**

ID	X1 [m]	Y1 [m]	Geometrie		Fläche [m <sup>2</sup> ]	Last Wert [kN/m <sup>2</sup> ]	SubTotal Last Z [kN]
			X2 [m]	Y2 [m]			
F1	1.40	1.98	-2.00	1.02	3.23	-18.000	-58.140
F2	4.60	1.02	13.00	1.98	7.98	-18.000	-143.640
F3	1.73	1.02	2.67	1.98	0.90	-100.000	-90.250
F4	3.33	1.02	4.28	1.98	0.90	-100.000	-90.250
F5	1.40	0.98	-2.00	0.02	3.23	-18.000	-58.140
F6	1.73	0.02	2.67	0.98	0.90	-100.000	-90.250
F7	3.33	0.02	4.28	0.98	0.90	-100.000	-90.250
F8	4.60	0.02	13.00	0.98	7.98	-18.000	-143.640

**Summe Z**

		Total Last [kN]
<b>Total</b>		<b>-764.560</b>

BELASTUNG ELM1b : Entgleisungslastmodell 1b

Mstb. 1 :100.0

F3 p=-37.000 kN/m <sup>2</sup>	F1 100.000	F2 p=-100.000 kN	F4 p=-18.000 kN/m <sup>2</sup>
F5 p=-18.000 kN/m <sup>2</sup>	F6 100.000	F7 p=-100.000 kN	F8 p=-18.000 kN/m <sup>2</sup>
p <sub>tot</sub> =-100.890 kN	p <sub>tot</sub> =-90.2	p <sub>tot</sub> =-90.250 kN	p <sub>tot</sub> =-100.890 kN

**BELASTUNG ELM1b : Entgleisungslastmodell 1b**

**Flächenlast (Rechteck)**

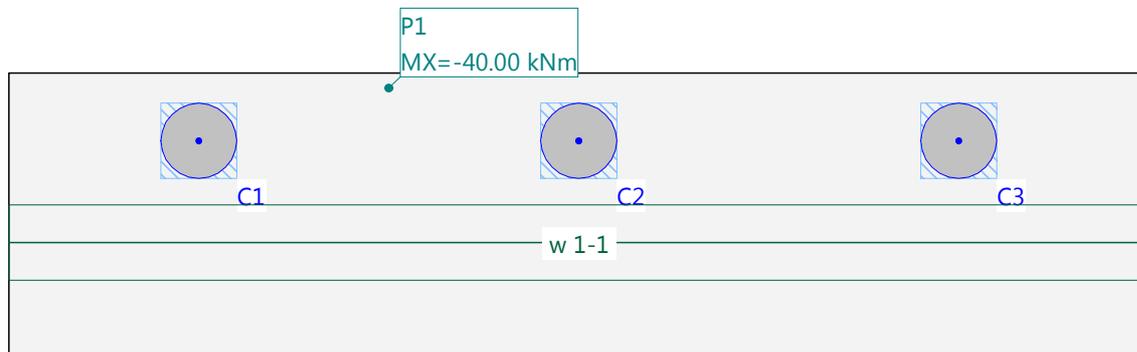
ID	X1 [m]	Y1 [m]	Geometrie		Fläche [m <sup>2</sup> ]	Last Wert [kN/m <sup>2</sup> ]	SubTotal Last Z [kN]
			X2 [m]	Y2 [m]			
F1	5.17	1.02	4.22	1.98	0.90	-100.000	-90.250
F2	5.83	1.02	6.78	1.98	0.90	-100.000	-90.250
F3	3.90	1.02	-2.00	1.98	5.61	-37.000	-207.385
F4	7.10	1.02	13.00	1.98	5.61	-18.000	-100.890
F5	3.90	0.02	-2.00	0.98	5.61	-18.000	-100.890
F6	5.17	0.02	4.22	0.98	0.90	-100.000	-90.250
F7	5.83	0.02	6.78	0.98	0.90	-100.000	-90.250
F8	7.10	0.02	13.00	0.98	5.61	-18.000	-100.890

**Summe Z**

		Total Last [kN]
<b>Total</b>		<b>-871.055</b>

BELASTUNG FLM : Veränderliche Lasten FLM

Mstb. 1 :100.0



**BELASTUNG FLM : Veränderliche Lasten FLM**

**Punktlast**

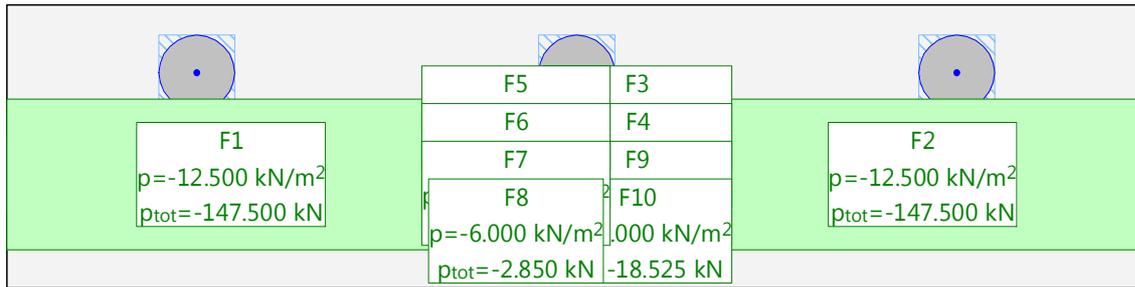
ID	X [m]	Y [m]	Moment		SubTotal Last Z [kN]
			MX [kNm]	MY [kNm]	
P1	3.00	2.05	-40.00	0	0.000

**Summe Z**

		Total Last [kN]
<b>Total</b>		<b>0.000</b>

**BELASTUNG L1a : Schmalspurbahn**

Mstb. 1 :100.0



**BELASTUNG L1a : Schmalspurbahn**

**Flächenlast (Rechteck)**

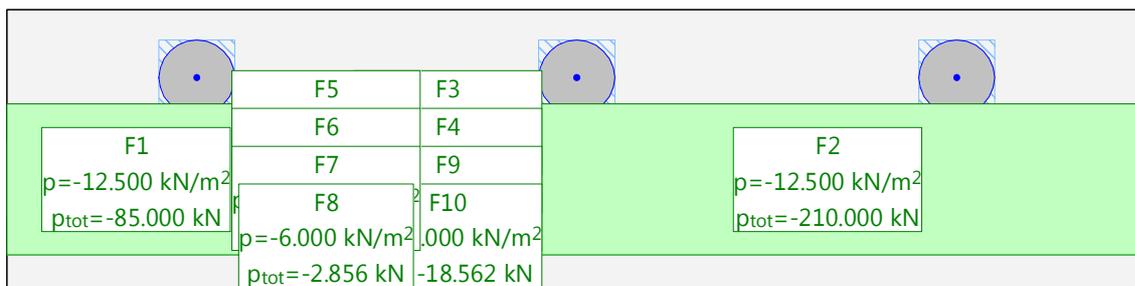
ID	X1 [m]	Y1 [m]	Geometrie		Fläche [m²]	Last Wert [kN/m²]	SubTotal Last Z [kN]
			X2 [m]	Y2 [m]			
F1	3.90	1.00	-2.00	-1.00	11.80	-12.500	-147.500
F2	7.10	-1.00	13.00	1.00	11.80	-12.500	-147.500
F3	5.82	1.00	6.77	0.50	0.47	-66.000	-31.284
F4	5.82	0.50	6.78	0	0.48	-57.000	-27.075
F5	4.22	1.00	5.17	0.50	0.47	-99.000	-46.926
F6	4.22	0.50	5.17	0	0.48	-68.000	-32.300
F7	4.22	0	5.17	-0.50	0.47	-37.000	-17.558
F8	4.22	-0.50	5.17	-1.00	0.48	-6.000	-2.850
F9	5.82	0	6.77	-0.50	0.47	-48.000	-22.778
F10	5.82	-0.50	6.78	-1.00	0.48	-39.000	-18.525

**Summe Z**

							Total Last [kN]
<b>Total</b>							<b>-494.297</b>

**BELASTUNG L1b : Schmalspurbahn**

Mstb. 1 :100.0



**BELASTUNG L1b : Schmalspurbahn**

**Flächenlast (Rechteck)**

ID	X1 [m]	Y1 [m]	Geometrie		Fläche [m²]	Last Wert [kN/m²]	SubTotal Last Z [kN]
			X2 [m]	Y2 [m]			
F1	1.40	1.00	-2.00	-1.00	6.80	-12.500	-85.000
F2	4.60	1.00	13.00	-1.00	16.80	-12.500	-210.000
F3	3.33	1.00	4.28	0.50	0.48	-66.000	-31.350
F4	3.33	0.50	4.28	0	0.48	-57.000	-27.075
F5	1.73	1.00	2.67	0.50	0.47	-99.000	-47.025
F6	1.73	0.50	2.67	0	0.47	-68.000	-32.300
F7	1.73	0	2.67	-0.50	0.47	-37.000	-17.558
F8	1.73	-0.50	2.67	-1.00	0.48	-6.000	-2.853
F9	3.33	0	4.28	-0.50	0.47	-48.000	-22.777
F10	3.33	-0.50	4.28	-1.00	0.48	-39.000	-18.543

Nr.:

**Summe Z**

		<b>Total Last [kN]</b>
<b>Total</b>		<b>-494.481</b>

**Analyseparameter Norm: SIA**

ID	σ-ε-Diagramme		Grenzdehnungen			σ <sub>s</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	Widerstandsbeiwerte					
	c	s	ε <sub>c1d</sub> [‰]	ε <sub>c2d</sub> [‰]	ε <sub>ud</sub> [‰]		γ <sub>c</sub> [-]	γ <sub>s</sub> [-]				
!GZT	4/0	1	-2.0	-3.0	20.0		1.50	1.15				
!GZG	1/0	1				σ <sub>s</sub> *	1.00	1.00				

σ<sub>s</sub> : aus vorhandener Bewehrung bzw. Vorgabe  
 Sigma-Epsilon : SIA262 Fig 12 + Fig 16

**Grenzwertspezifikation: Ermüdungständig**

**Beschreibung**

Standard-Bemessungssituation: Tragsicherheit Grenzzustand Typ 2 (1B)

**Einwirkungskombinationen**

Nr	Einwirkung Name	Fak	Einwirkungskombinationen	
			1	
1	Eigenlast	1	1	
2	Auflasten	1	1	

Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

**Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen**

zu Grenzwertspezifikation Ermüdungständig

Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		EG Eigengewicht	1.000	
Auflasten		ständig		A Auflast	1.000	

Alt : Alternative Überlagerung

**Ermüdungsveränderlich**

**Beschreibung**

Standard-Bemessungssituation: Tragsicherheit Grenzzustand Typ 2 (1B)

**Einwirkungskombinationen**

Nr	Einwirkung Name	Fak	Einwirkungskombinationen	
			1	
1	Eigenlast	1	1	
2	Auflasten	1	1	
3	Nutzlast allgemein	1	1	
4	Schmalspurbahnverkehr	1	1	

Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

**Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen**

zu Grenzwertspezifikation Ermüdungsveränderlich

Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		EG Eigengewicht	1.000	
Auflasten		ständig		A Auflast	1.000	
Nutzlast allgemein		wo massgebend		FLM Veränderliche Lasten FLM	1.000	
Schmalspurbahnverkehr		wo massgebend		L1b Schmallspurbahn	1.000	

Alt : Alternative Überlagerung

**GZGhäufig**

**Beschreibung**

Standard-Bemessungssituation: Gebrauchstauglichkeit häufige Kombination

**Einwirkungskombinationen**

Nr	Einwirkung Name	Fak	Einwirkungskombinationen			
			1	2	3	4
1	Eigenlast	1	1			
2	Auflasten	1	1			
3	Nutzlast allgemein	1	0.7			
4	Schmalspurbahnverkehr	1	1			

Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

**Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen**

zu Grenzwertspezifikation GZGhäufig

Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		EG Eigengewicht	1.000	
Auflasten		ständig		A Auflast	1.000	
Nutzlast allgemein		wo massgebend		FLM Veränderliche Lasten FLM	1.000	
Schmalspurbahnverkehr		ständig	entwede	L1a Schmalspurbahn	1.000	
			oder	L1b Schmallspurbahn	1.000	

Alt : Alternative Überlagerung

**GZGL1**

**Beschreibung**

Standard-Bemessungssituation: Gebrauchstauglichkeit seltene Kombination

**Einwirkungskombinationen**

Nr	Einwirkung Name	Fak	Einwirkungskombinationen			
			1	2	3	4
1	Schmalspurbahnverkehr	1	1	1		

Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

**Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen**

zu Grenzwertspezifikation GZGL1

Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Schmalspurbahnverkehr		ständig	entwede	L1a Schmalspurbahn	1.000	
			oder	L1b Schmallspurbahn	1.000	

Alt : Alternative Überlagerung

**GZT2**

**Beschreibung**

Standard-Bemessungssituation: Tragsicherheit Grenzzustand Typ 2 (1B)

**Einwirkungskombinationen**

Nr	Einwirkung Name	Fak	Einwirkungskombinationen			
			1	2	3	4
1	Eigenlast	1	1.35	1.35	0.8	0.8
2	Auflasten	1	1.35	1.35	0.8	0.8
3	Nutzlast allgemein	1	1.5	0.7	1.5	0.7
4	Schmalspurbahnverkehr	1	1	1.45	1	1.45

Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

**Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen**

zu Grenzwertspezifikation GZT2

Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		EG Eigengewicht	1.000	
Auflasten		ständig		A Auflast	1.000	
Nutzlast allgemein		wo massgebend		FLM Veränderliche Lasten FLM	1.000	
Schmalspurbahnverkehr		ständig	entwede	L1a Schmalspurbahn	1.000	
			oder	L1b Schmalspurbahn	1.000	

Alt : Alternative Überlagerung

**GZTA**

**Beschreibung**

Aussergewöhnliche Bemessungssituation: Tragsicherheit Grenzzustand Typ 2 (1B)

**Einwirkungskombinationen**

Nr	Einwirkung Name	Fak	Einwirkungskombinationen	
			1	
1	Eigenlast	1	1	
2	Auflasten	1	1	
3	Entgleisungslast	1	1	
4	Nutzlast allgemein	1	0.7	

Fak : alle Kombinationswerte werden mit diesem Faktor multipliziert

**Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen**

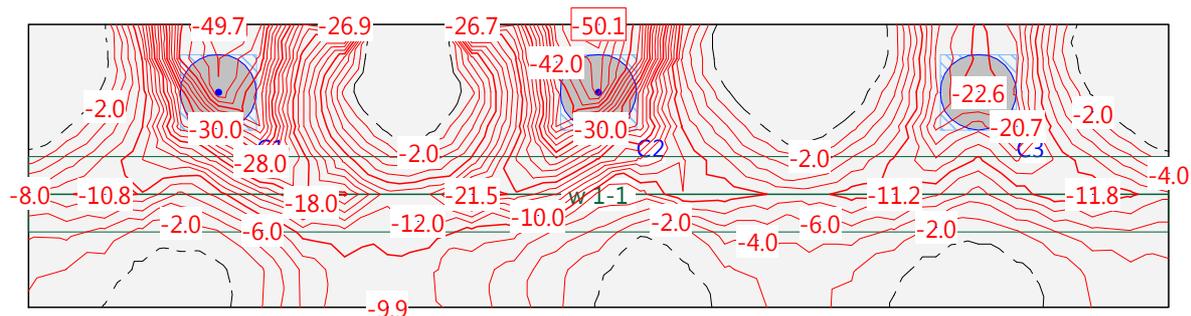
zu Grenzwertspezifikation GZTA

Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		EG Eigengewicht	1.000	
Auflasten		ständig		A Auflast	1.000	
Entgleisungslast		ständig	entwede	ELM2 Entgleisungslastmodell 2	1.000	
			oder	ELM1a Entgleisungslastmodell 1	1.000	
			oder	ELM1b Entgleisungslastmodell 1b	1.000	
Nutzlast allgemein		wo massgebend		FLM Veränderliche Lasten FLM	1.000	

Alt : Alternative Überlagerung

Grenzwerte Bewehrungsmomente: maxt [kN], Äquidistanz: 2.0 [kN], Referenzlinie: 0.0  
 Spezifikation: GZT2

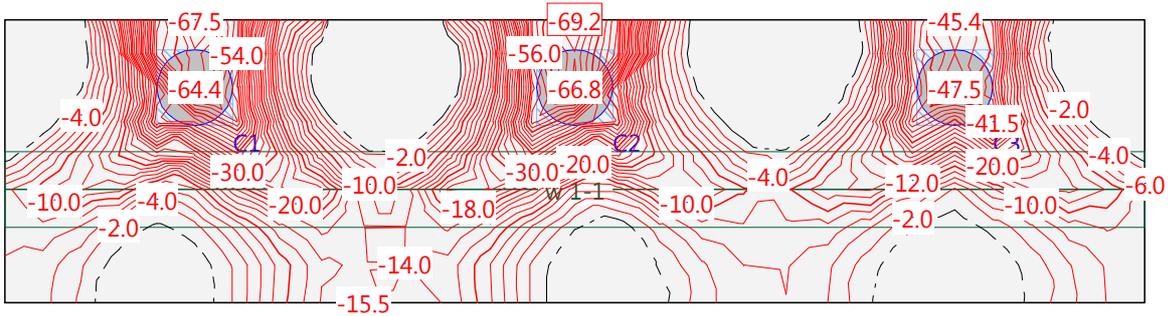
Msb. 1 :100.0





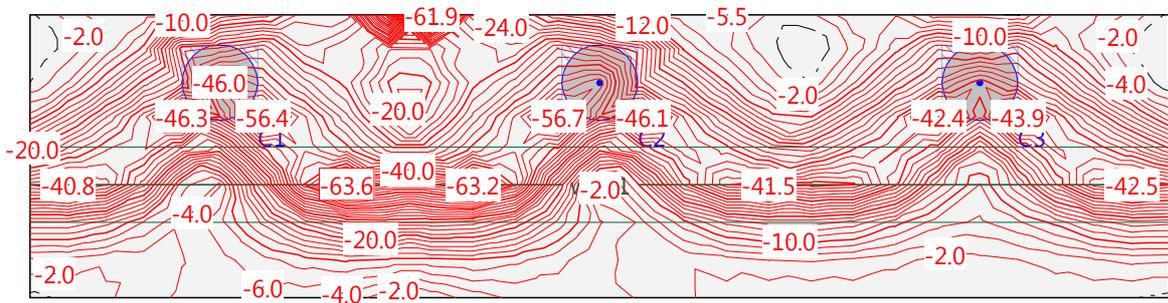
Grenzwerte Bewehrungsmomente: maxt [kN], Äquidistanz: 2.0 [kN], Referenzlinie: 0.0  
 Spezifikation: GZTA

Mstb. 1 :100.0



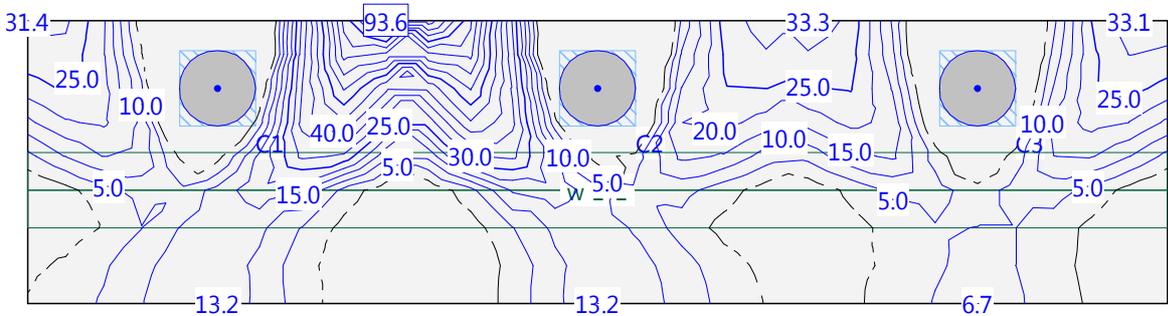
Grenzwerte Bewehrungsmomente: mayt [kN], Äquidistanz: 2.0 [kN], Referenzlinie: 0.0  
 Spezifikation: GZTA

Mstb. 1 :100.0



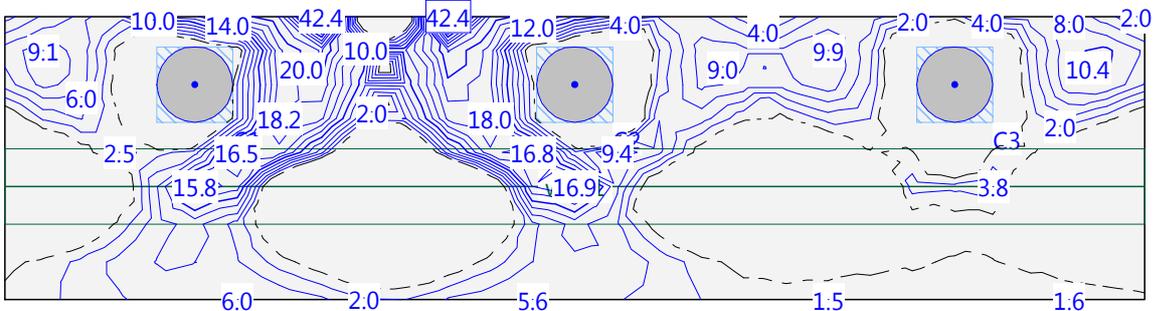
Grenzwerte Bewehrungsmomente: maxb [kN], Äquidistanz: 5.0 [kN], Referenzlinie: 0.0  
 Spezifikation: GZTA

Mstb. 1 :100.0



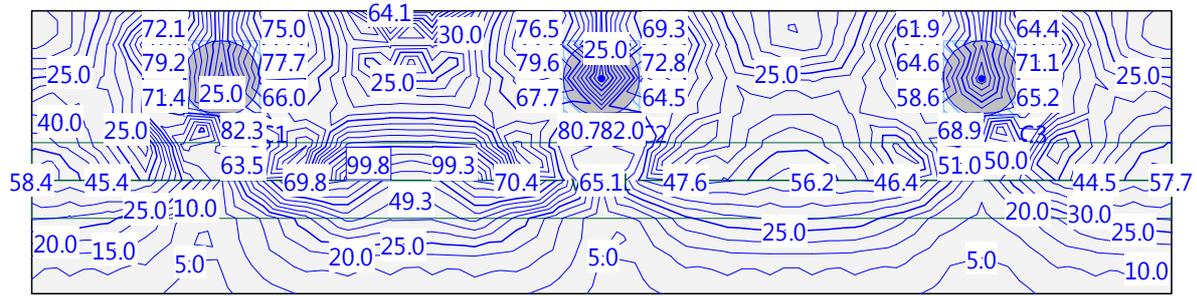
Grenzwerte Bewehrungsmomente: mayb [kN], Äquidistanz: 2.0 [kN], Referenzlinie: 0.0  
 Spezifikation: GZTA

Mstb. 1 :100.0



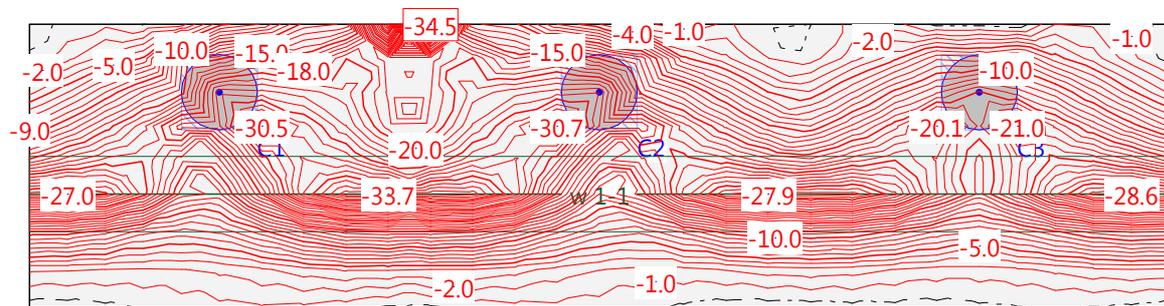
Grenzwerte Querkräfte: [kN/m], Äquidistanz: 5.0 [kN/m], Referenzlinie: 0.0  
Spezifikation: GZTA

Mstb. 1 :100.0



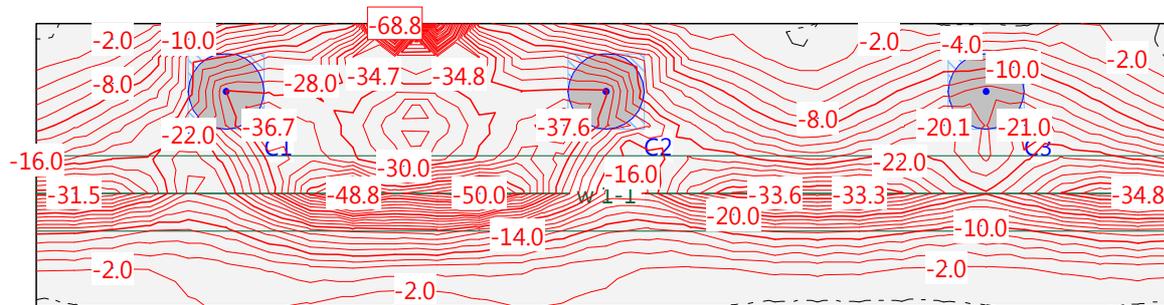
Grenzwerte Bewehrungsmomente: mayt [kN], Äquidistanz: 1.0 [kN], Referenzlinie: 0.0  
Spezifikation: Ermüdungständig

Mstb. 1 :100.0



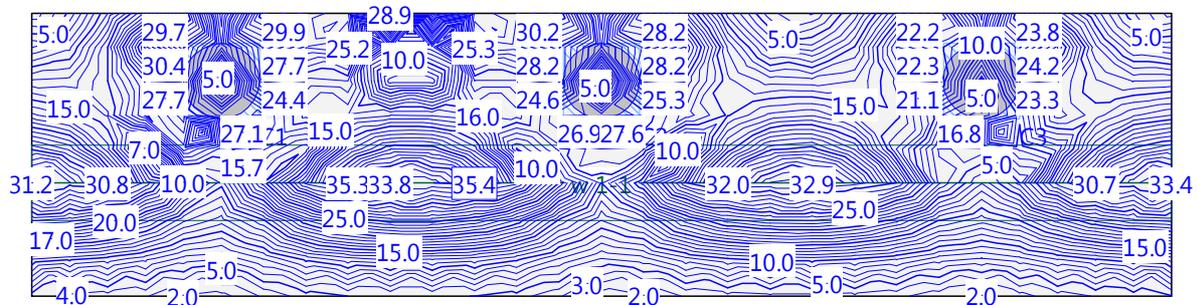
Grenzwerte Bewehrungsmomente: mayt [kN], Äquidistanz: 2.0 [kN], Referenzlinie: 0.0  
Spezifikation: Ermüdungsveränderlich

Mstb. 1 :100.0



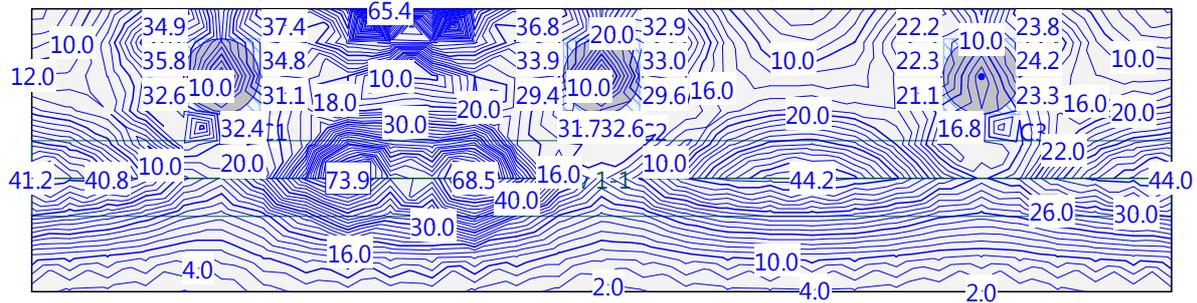
Grenzwerte Querkräfte: [kN/m], Äquidistanz: 1.0 [kN/m], Referenzlinie: 0.0  
Spezifikation: Ermüdungständig

Mstb. 1 :100.0



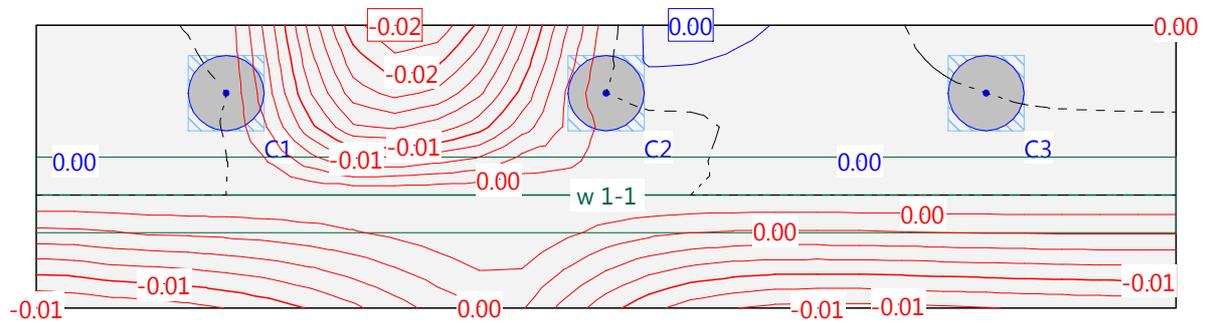
Grenzwerte Querkräfte: [kN/m], Äquidistanz: 2.0 [kN/m], Referenzlinie: 0.0  
 Spezifikation: Ermüdungsveränderlich

Mstb. 1 :100.0



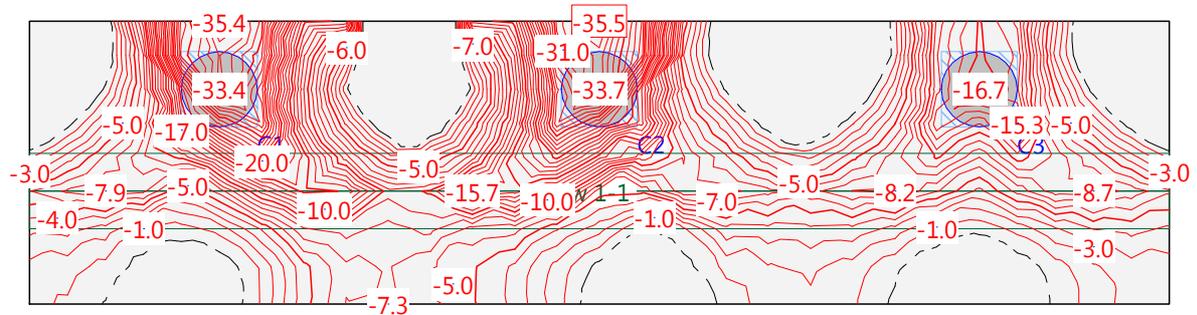
Grenzwerte Durchbiegungen: Minima [mm], Äquidistanz: 0.00 [mm], Referenzlinie: 0.00  
 Spezifikation: GZGL1

Mstb. 1 :100.0



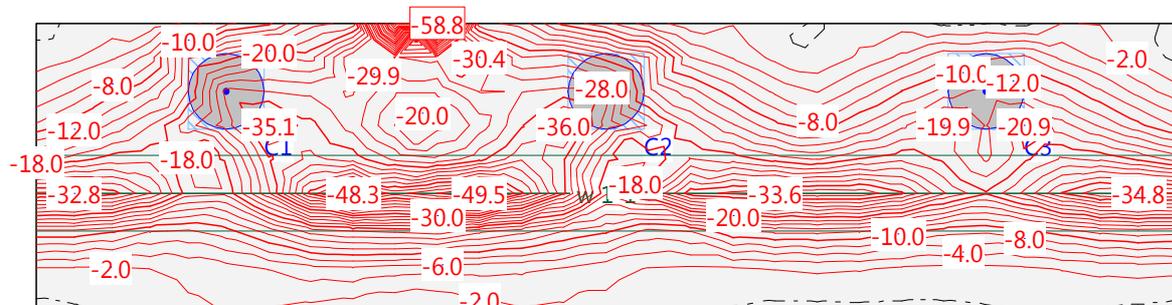
Grenzwerte Bewehrungsmomente: maxt [kN], Äquidistanz: 1.0 [kN], Referenzlinie: 0.0  
 Spezifikation: GZGhäufig

Mstb. 1 :100.0



Grenzwerte Bewehrungsmomente: mayt [kN], Äquidistanz: 2.0 [kN], Referenzlinie: 0.0  
 Spezifikation: GZGhäufig

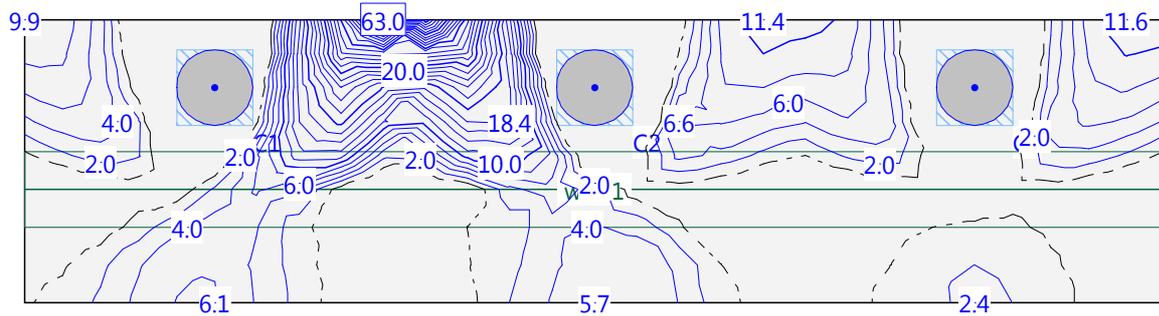
Mstb. 1 :100.0



Nr.:

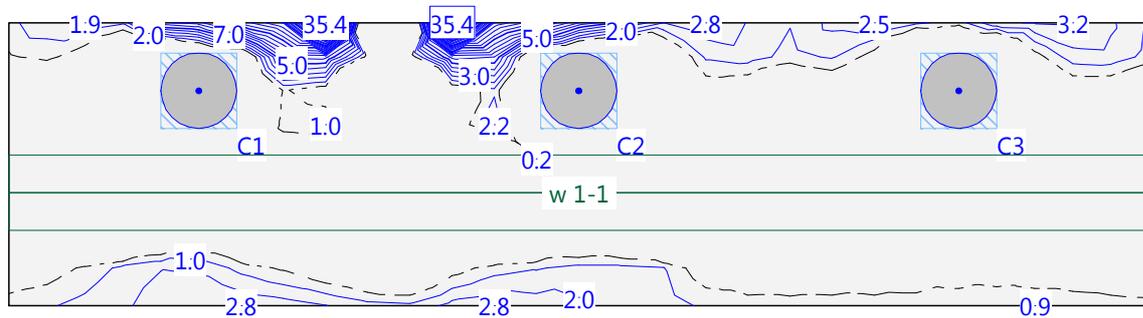
Grenzwerte Bewehrungsmomente: maxb [kN], Äquidistanz: 2.0 [kN], Referenzlinie: 0.0  
Spezifikation: GZGhäufig

Mstb. 1 :100.0



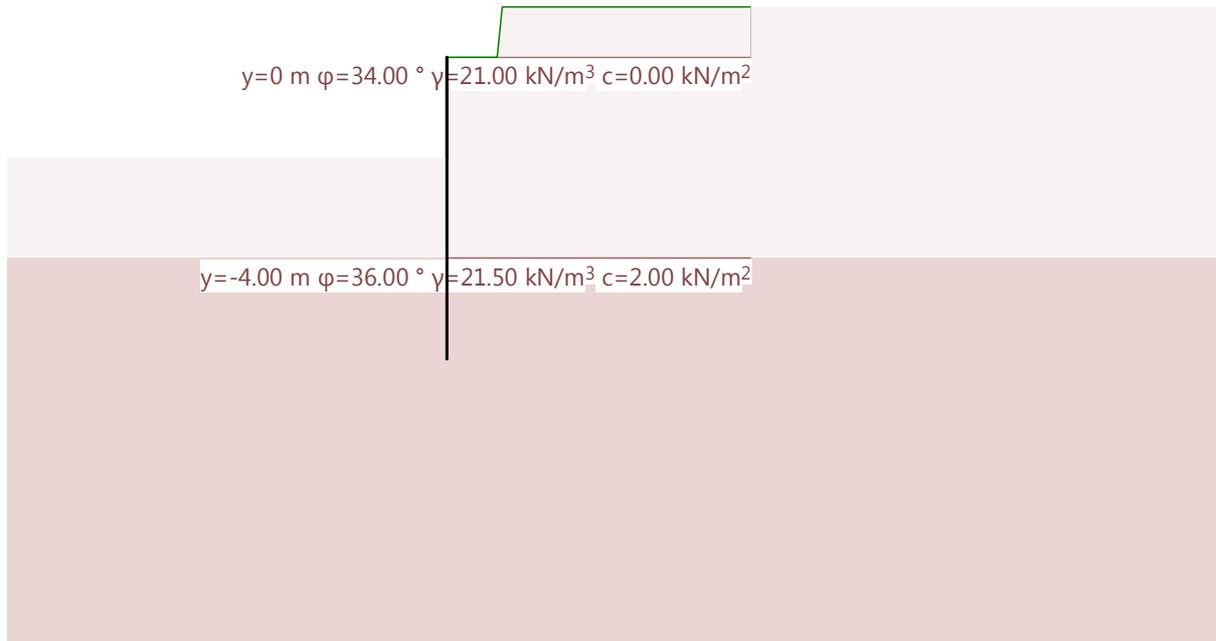
Grenzwerte Bewehrungsmomente: mayb [kN], Äquidistanz: 1.0 [kN], Referenzlinie: 0.0  
Spezifikation: GZGhäufig

Mstb. 1 :100.0



Baugrundmodell (System)

Mstb. 1 :150.0



$y=-14.00\text{ m}$   $\varphi=26.00^\circ$   $\gamma=22.00\text{ kN/m}^3$   $c=35.00\text{ kN/m}^2$

## SYSTEM

### Etappen

Nr	Titel
1	Endzustand

### Baugrubenabschluss

Wandtyp	Parameter $\delta_a$	Bewegung	Wandkopf		Neigung $\alpha$ [°]
			x [m]	y [m]	
offen	0.67	frei	0	0	0

$\delta_a$  : Wandreibungswinkel als Bruchteil des Reibungswinkels für die Bestimmung der aktiven Erddruckbeiwerte  
Bewegung : Vertikale Wandbewegung behindert oder frei

### Baugrubenabschluss: Querschnitt Pfahlwand aufgelöst

Beschreibung	Pfähle		Beschreibung	Ausfachung	
	Wert	Einheit		Wert	Einheit
Beton	C25/30		Spannweite $l_A$	0.00	[m]
Betonstahl	B500B		Lastabtragung	Gewölbewirkung	
Abstand $a_P$	1.00	[m]	Beton	C25/30	
Durchmesser $d_P$	1.00	[m]	Betonstahl	B500B	
Randabstand $a_{RP}$	60.0	[mm]	Dicke $d_A$	0.16	[m]
Steifigkeit oberh. Sohle $EI_o$	1575705	[kNm <sup>2</sup> /m]	Randabstand $a_{RA}$	60.0	[mm]
Steifigkeit unterh. Sohle $EI_u$	1575705	[kNm <sup>2</sup> /m]			
min Bewehrungsgehalt $\rho_{min}$	0.50	[%]			

### Terrainoberfläche

Kote y [m]	Verlauf		Beschreibung	verteilte Auflast Einwirkung	p [kN/m <sup>2</sup> ]	wie Erddr.
	$d_x$ [m]	$d_y$ [m]				
0	1.00	1.00			0	nein
	0.10					

wie Erddr. : Mit Auflast erzeugter Erddruck wird behandelt wie normaler Erddruck (Umlagerung, minimaler Erddruck, Lastfaktor)

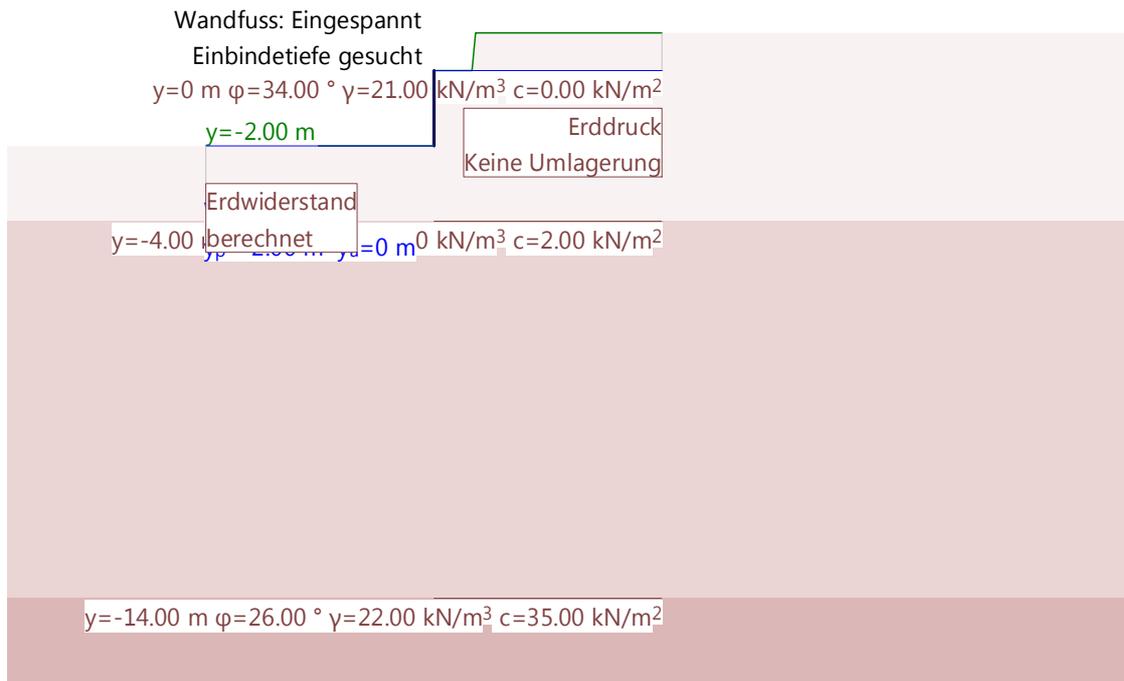
### Bodenschichten

Beschreibung	Kote y [m]	Parameter			weitere Attribute					
		$\varphi$ [°]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_a$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$c_p$ [kN/m <sup>2</sup> ]	k [m/s]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$K_{ah}$ [-]	$K_{0h}$ [-]	$K_{ph}$ [-]
	0	34.00	21.00	0.00						
	-4.00	36.00	21.50	2.00						
	-14.00	26.00	22.00	35.00						

$c_a$  : Kohäsion der Bodenschicht für die Bestimmung des Erddrucks  
 $c_p$  : Kohäsion der Bodenschicht für die Bestimmung des Erdwiderstandes  
k : Durchlässigkeit der Bodenschicht  
 $\gamma$  : Raumgewicht des Bodens unter Auftrieb (ohne Strömungsdruck)

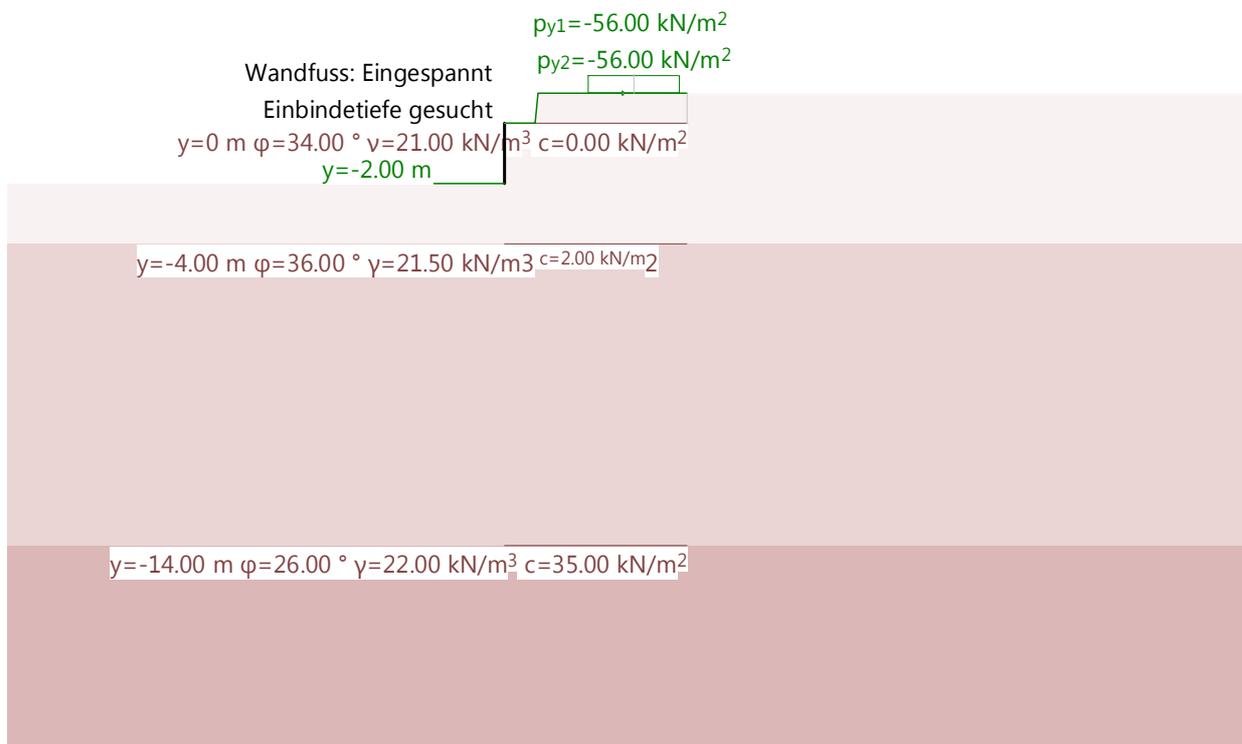
Baugrundmodell Etappe 1: Endzustand

Mstb. 1 :200.0



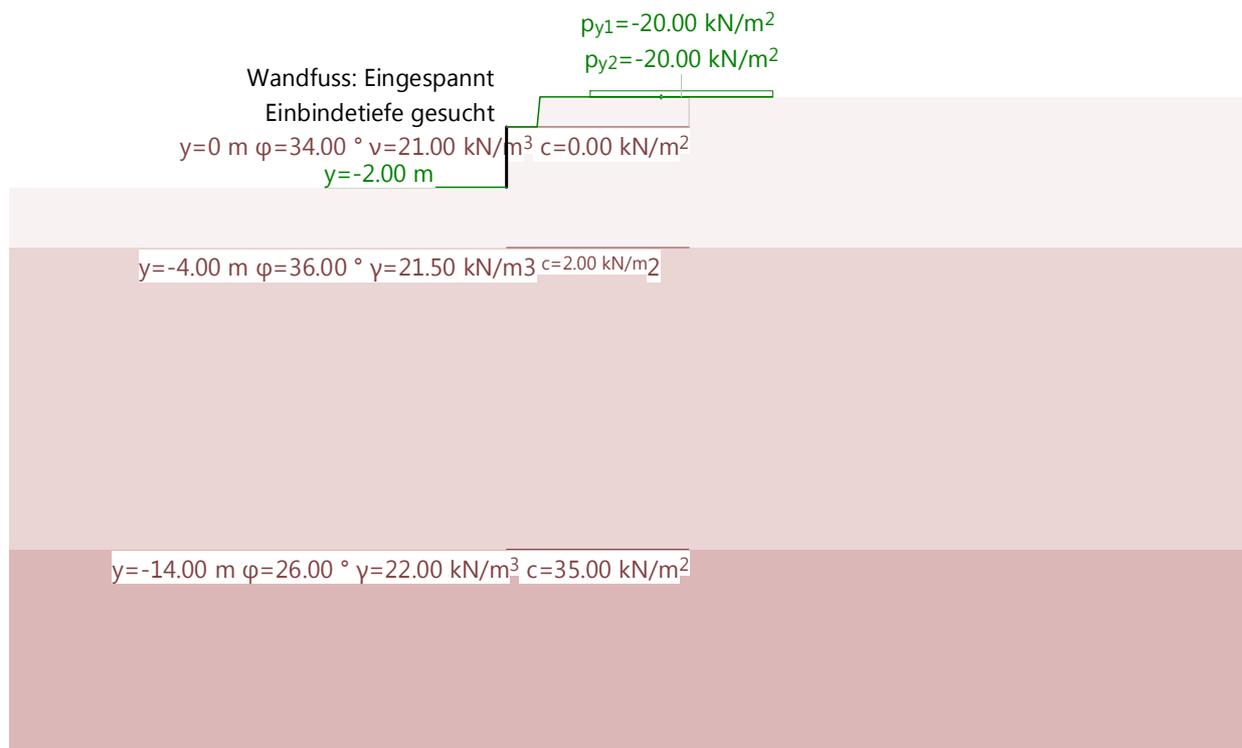
Belastung B: Ausnahmetransport, Etappe 1: Endzustand

Mstb. 1 :250.0



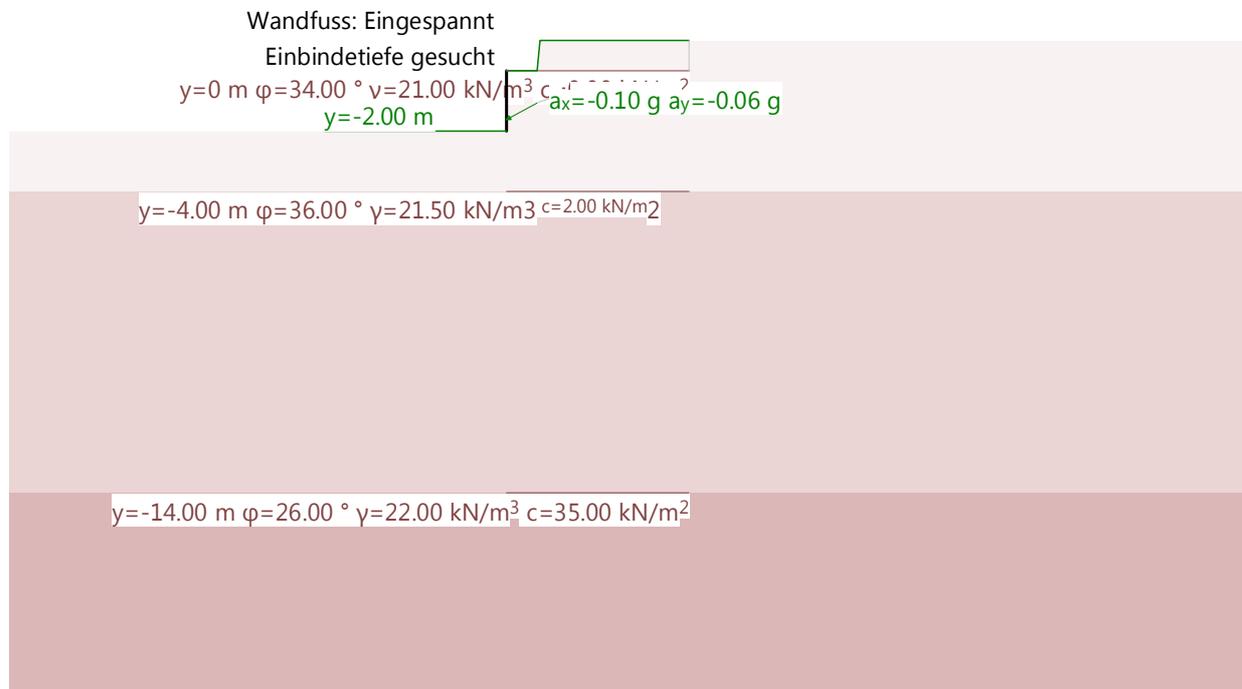
Belastung B1: Strassenlast, Etappe 1: Endzustand

Mstb. 1 :250.0



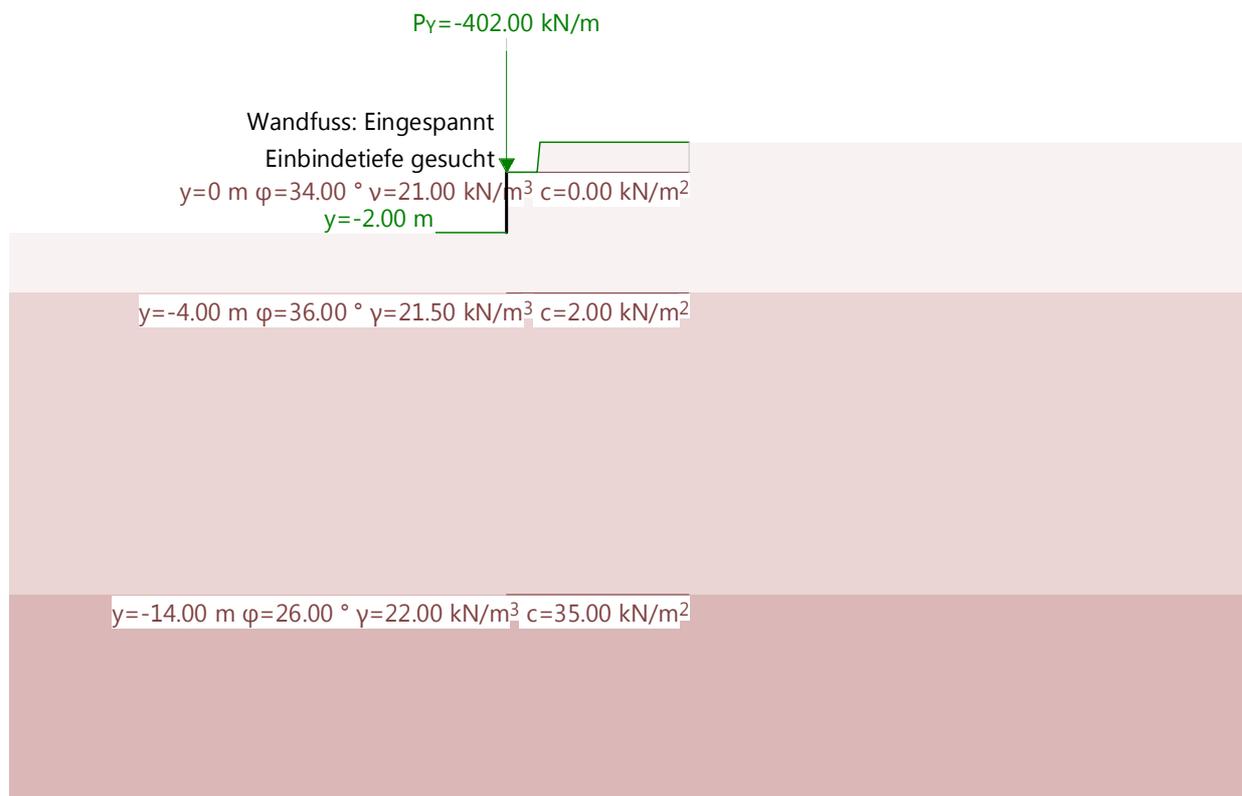
Belastung B2: Erdbeben, Etappe 1: Endzustand

Mstb. 1 :250.0



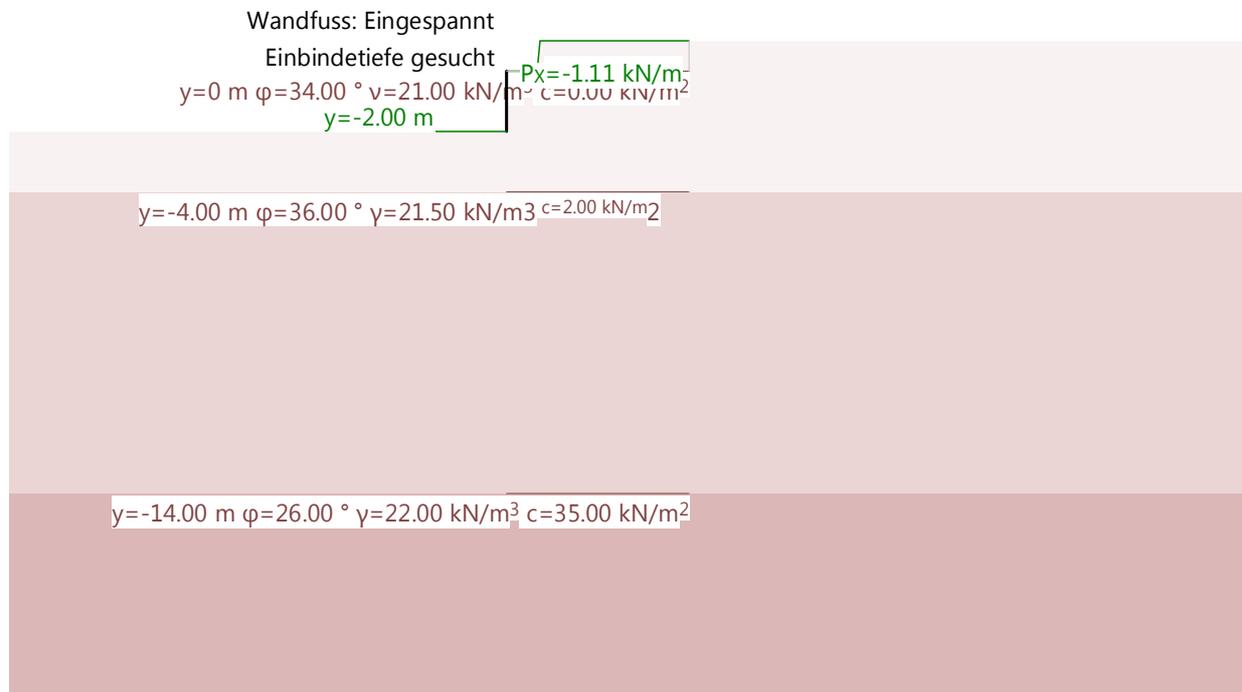
Belastung B3: Lasten aus Betonplatte, Etappe 1: Endzustand

Mstb. 1 :250.0



Belastung B4: Ständige Lasten FLM, Etappe 1: Endzustand

Mstb. 1 :250.0



Belastung B5: Ver. Lasten FLM, Etappe 1: Endzustand

Mstb. 1 :250.0

Wandfuss: Eingespannt

Einbindetiefe gesucht

$$y=0 \text{ m } \varphi=34.00^\circ \quad v=21.00 \text{ kN/m}^2 \quad c=0.00 \text{ kN/m}^2$$

$$y=-2.00 \text{ m} \quad P_x=-1.11 \text{ kN/m}^2$$

$$y=-4.00 \text{ m } \varphi=36.00^\circ \quad \gamma=21.50 \text{ kN/m}^3 \quad c=2.00 \text{ kN/m}^2$$

$$y=-14.00 \text{ m } \varphi=26.00^\circ \quad \gamma=22.00 \text{ kN/m}^3 \quad c=35.00 \text{ kN/m}^2$$

### Einwirkungen (1)

Name	Typ	Set	GZ Typ 1		GZ Typ 2		GZ Typ 3		$\gamma$ [-]
			$\gamma$ [-]	$\gamma_{inf}$ [-]	$\gamma$ [-]	$\gamma_{inf}$ [-]	$\gamma$ [-]	$\gamma_{inf}$ [-]	
Eigenlast	ständig		1.10	0.90	1.35	0.80	1.00	1.00	1.35
Auflasten	ständig		1.10	0.90	1.35	0.80	1.00	1.00	1.35
Nutzlast	veränderlich		1.50		1.50		1.50		1.50
Erddruck ständig	ständig		1.35	0.80	1.35	0.70	1.00	1.00	1.35
Wasserdruck veränderlich	veränderlich		1.05		1.20		1.00		1.20
aussergewöhnlich	aussergewöhnlich		1.00		1.00		1.00		1.00
Strassenverkehr	veränderlich		1.35		1.35		1.35		1.35
Lasten aus Betonplatte	ständig		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ausnahmetransport	veränderlich		1.35		1.35		1.35		1.35

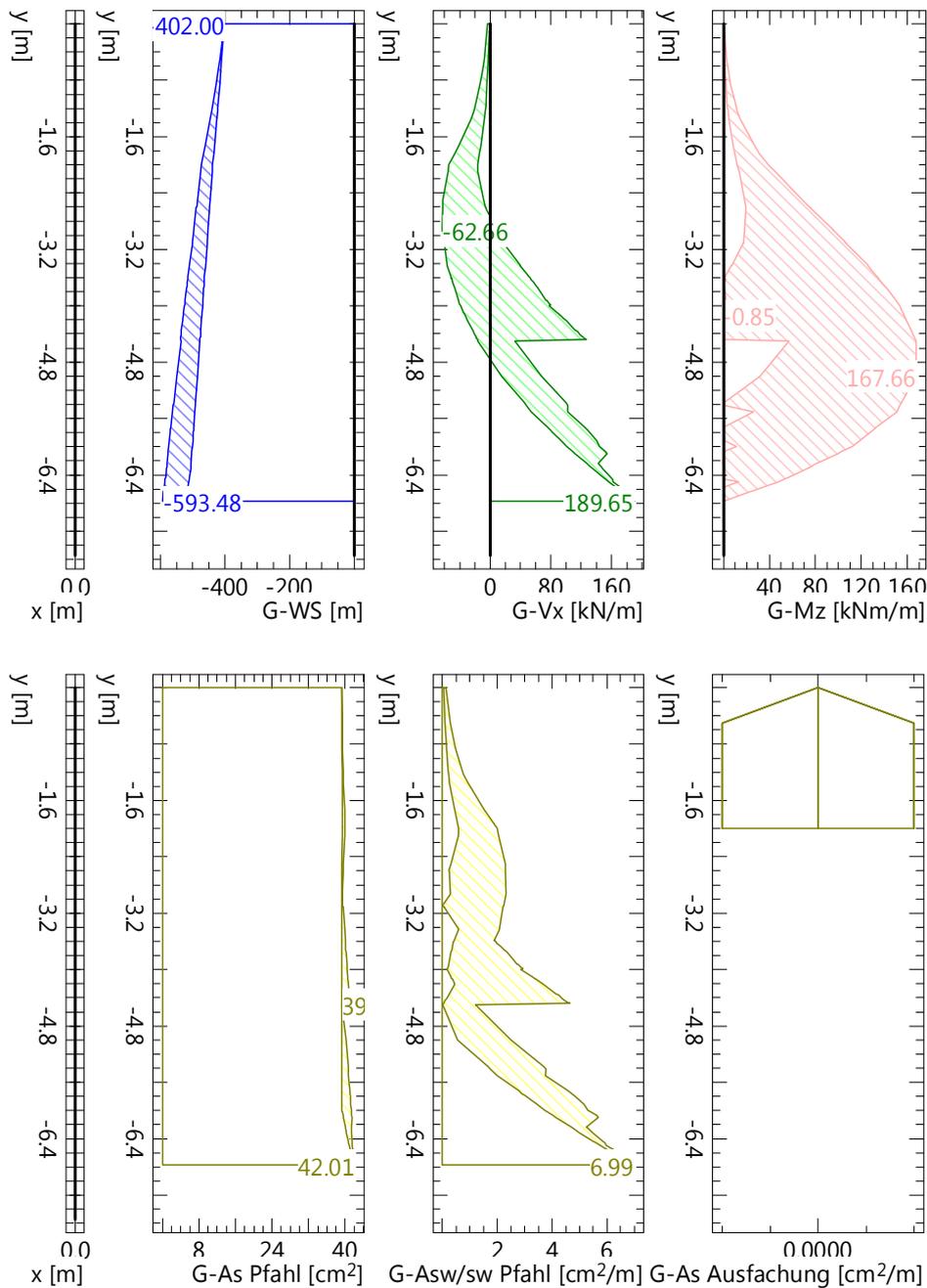
- GZ Typ 1 : Grenzzustand Typ 1
- GZ Typ 2 : Grenzzustand Typ 2
- GZ Typ 3 : Grenzzustand Typ 3
- : Grenzzustand Typ 2a

### Einwirkungen (2)

Name	$\gamma_{inf}$ [-]	$\psi$ -Beiwerte			u
		$\psi_0$ [-]	$\psi_1$ [-]	$\psi_2$ [-]	
Eigenlast	1.00				Ja
Auflasten	0.80				Ja
Nutzlast		1.00	1.00	1.00	Ja
Erddruck ständig	0.70				Ja
Wasserdruck veränderlich		0.70	0.70	0.70	Ja
aussergewöhnlich					Ja
Strassenverkehr		0.70	0.70	0.70	Ja
Lasten aus Betonplatte	1.00				Ja
Ausnahmetransport		0.70	0.70	0.70	Ja

- $\psi$ -Beiwerte : Grenzzustand Typ 2a
- u : Reduktionsbeiwerte
- u : Einwirkung ist benutzt

Grenzwerte Pfahlwand aufgelöst grafisch



**Grenzwerte**

**Wandlänge**

Etappe	y [m]	t [m]	Sohle [m]	Werte aus
1	-7.55	5.55	-2.00	Etappe 1, G2T2, EWK 45

y : Kote UK Wand  
t : Einbindetiefe  
Sohle : Kote Baugrubensohle

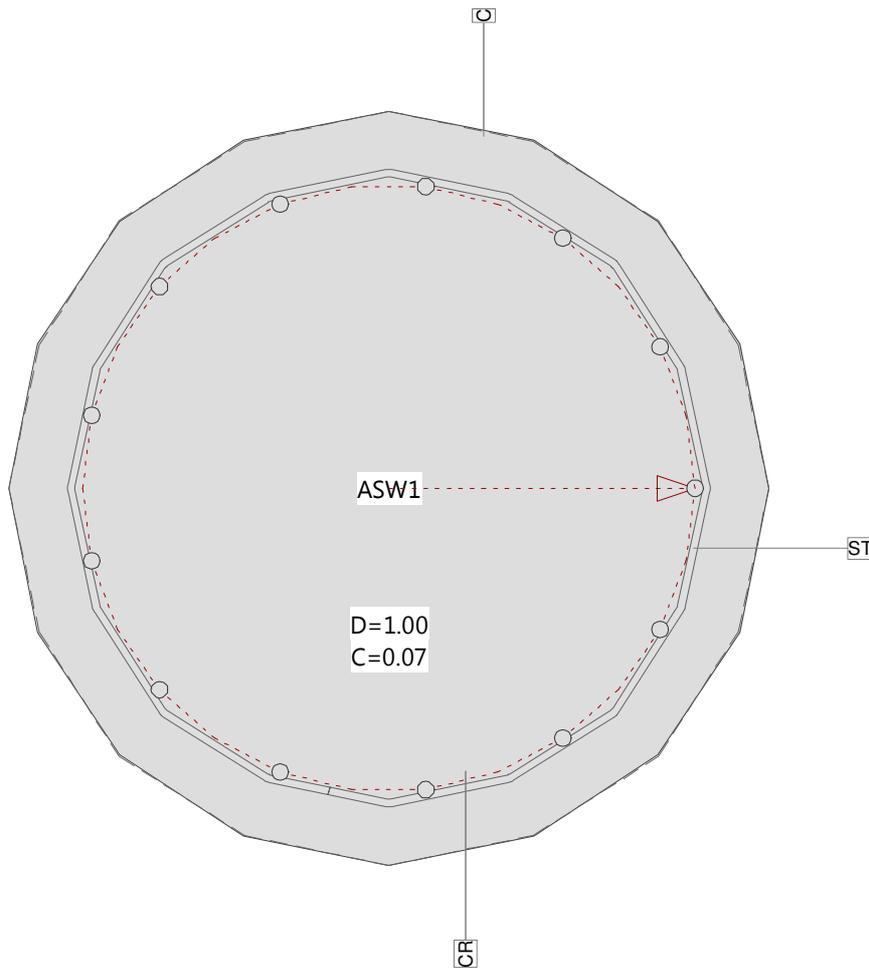
**Deformationen**

y [m]	Dx [mm]	Dx max			Dx [mm]	Dx min		
		Et,GWS,EWK				Et,GWS,EWK		
0	-0.09	1, 1, 1			<b>-0.60</b>	1, 3, 2		
-0.50	-0.07	1, 1, 1			-0.52	1, 3, 2		
-0.85	-0.06	1, 1, 1			-0.46	1, 3, 2		
-0.85	-0.06	1, 1, 1			-0.46	1, 3, 2		
-0.85	-0.06	1, 1, 1			-0.46	1, 3, 2		
-0.85	-0.06	1, 1, 1			-0.46	1, 3, 2		
-0.85	-0.06	1, 1, 1			-0.46	1, 3, 2		
-1.35	-0.04	1, 1, 1			-0.38	1, 3, 2		
-1.35	-0.04	1, 1, 1			-0.38	1, 3, 2		
-1.35	-0.04	1, 1, 1			-0.38	1, 3, 2		
-1.35	-0.04	1, 1, 1			-0.38	1, 3, 2		
-1.35	-0.04	1, 1, 1			-0.38	1, 3, 2		
-1.42	-0.04	1, 1, 1			-0.37	1, 3, 2		
-1.42	-0.04	1, 1, 1			-0.37	1, 3, 2		
-1.42	-0.04	1, 1, 1			-0.37	1, 3, 2		
-1.42	-0.04	1, 1, 1			-0.37	1, 3, 2		
-1.42	-0.04	1, 1, 1			-0.37	1, 3, 2		
-1.92	-0.02	1, 1, 1			-0.29	1, 3, 2		
-2.00	-0.02	1, 1, 1			-0.27	1, 3, 2		
-2.00	-0.02	1, 1, 1			-0.27	1, 3, 2		
-2.00	-0.02	1, 1, 1			-0.27	1, 3, 2		
-2.00	-0.02	1, 1, 1			-0.27	1, 3, 2		
-2.06	-0.02	1, 1, 1			-0.26	1, 3, 2		
-2.06	-0.02	1, 1, 1			-0.26	1, 3, 2		
-2.33	-0.02	1, 1, 1			-0.22	1, 3, 2		
-2.33	-0.02	1, 1, 1			-0.22	1, 3, 2		
-2.33	-0.02	1, 1, 1			-0.22	1, 3, 2		
-2.33	-0.02	1, 1, 1			-0.22	1, 3, 2		
-2.46	-0.01	1, 1, 1			-0.20	1, 3, 2		
-2.46	-0.01	1, 1, 1			-0.20	1, 3, 2		
-2.56	-0.01	1, 1, 1			-0.19	1, 3, 2		
-2.83	-0.01	1, 1, 1			-0.15	1, 3, 2		
-2.83	-0.01	1, 1, 1			-0.15	1, 3, 2		
-2.96	-0.00	1, 1, 1			-0.14	1, 3, 2		
-3.06	-0.00	1, 1, 1			-0.13	1, 3, 2		
-3.33	-0.00	1, 1, 1			-0.10	1, 3, 2		
-3.33	-0.00	1, 1, 1			-0.10	1, 3, 2		
-3.46	-0.00	1, 1, 1			-0.08	1, 3, 2		
-3.56	-0.00	1, 1, 1			-0.07	1, 3, 2		
-3.77	0.00	1, 1, 1			-0.05	1, 3, 2		
-3.83	-0.02	1, 2, 1			-0.05	1, 3, 2		
-3.83	-0.02	1, 3, 1			-0.05	1, 3, 2		
-3.96	-0.01	1, 2, 1			-0.04	1, 3, 2		
-4.00	-0.01	1, 2, 1			-0.04	1, 3, 2		
-4.00	-0.01	1, 3, 1			-0.04	1, 3, 2		
-4.00	-0.01	1, 2, 1			-0.04	1, 3, 2		
-4.00	-0.01	1, 2, 1			-0.04	1, 3, 2		
-4.50	-0.00	1, 2, 1			-0.01	1, 3, 2		
-5.00	-0.00	1, 3, 1			-0.00	1, 3, 2		
-5.09	0.00	1, 3, 1			-0.00	1, 3, 2		
-5.17	0.00	1, 3, 3			-0.00	1, 3, 2		
-5.49	<b>0.00</b>	1, 3, 2			0.00	1, 3, 2		

Dx : Verschiebungen  
 Et,GWS,EWK : Etappe, Grenzwertspezifikation, Einwirkungskombination  
 GWS 1 = GZGqs,  
 GWS 2 = GZGh,  
 GWS 3 = GZGs,  
 GWS 4 = GZT3,  
 GWS 5 = GZT2,  
 GWS 6 = GZTA,  
 GWS 7 = GZT1

Querschnitt BOHRPFAHLWAND (C30/37;B500B): Umriss, Bewehrungen

Mstb. 1 :10.0



### Bemessung Querschnitt (Stütze): BOHRPFAHLWAND

#### Beanspruchung

Nr.	AP	P	Biegung und Normalkraft			Querkraft und Torsion			Bemerkungen
			N [kN]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	T [kNm]	
1	!GZT		-593.0	0.0	0.2	190.0	0.0	0.0	
2	!GZT		-540.0	0.0	160.0	126.0	0.0	0.0	
3	!GZT		-492.0	0.0	168.0	15.4	0.0	0.0	

#### Analyseparameter "!"GZT" Norm: SIA

ID	σ-ε-Diagramme		Grenzdehnungen			σ <sub>s</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	Widerstandsbeiwerte		Diverses		
	c	s	ε <sub>c1d</sub> [‰]	ε <sub>c2d</sub> [‰]	ε <sub>ud</sub> [‰]		γ <sub>c</sub> [-]	γ <sub>s</sub> [-]	α [-]	φ [-]	
!GZT	4/0	1	-2.0	-3.0	20.0		1.50	1.15	45.00	0	

α : Neigung Betondruckdiagonale  
φ : Kriechzahl  
Sigma-Epsilon : SIA262 Fig 12 + Fig 16

#### Längsbewehrung (M N)

Querschnitt (Stütze) : ρ<sub>min</sub> = 0.6 o/o

Nr.	Name	y <sub>1q</sub> [m]	z <sub>1q</sub> [m]	y <sub>2q</sub> [m]	z <sub>2q</sub> [m]	erf A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> ]	vorh A <sub>s</sub>	A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> ]
	CR	0	0	Radius =	0.40	4715	13Ø22	4942
x <sub>max</sub> /d = 1.00						Σ A <sub>s</sub> =	0.63 %	4942

erf A<sub>s</sub> : Statisch erforderliche Längsbewehrung für M N

Nr.:

### Querbewehrung

C30/37;B500B  $A_k = 0.6013 [m^2]$   $u_k = 2.75 [m]$   $t_{ef} = 0.13 [m]$  aus Gesamtquerschnitt

Nr.	Name	$V_d$ [kN]	$b_w$ [m]	$z$ [m]	$a_{sw,min}$ [mm <sup>2</sup> /m]	$eff_c$	erf $A_{s/2}$ [mm <sup>2</sup> ]	erf $a_{sw}$ [mm <sup>2</sup> /m]	gewählt	$a_{sw}$ [mm <sup>2</sup> /m]
1	SWY	190.0	0.76	0.65	800	0.07	218	672	(2) $\varnothing 10$ $s=0.22$	714

$V_d$  : Scheibenbeanspruchung (Kraft bzw. Torsionsmoment)  
 $b_w$  : massgebende Schubwandbreite  
 $z$  : Hebelarm (Schubwandhöhe)  
 $eff_c$  : Ausnutzung Betondruckdiagonalen  $k_c=0.55$   
erf  $A_{s/2}$  : Erforderliche Längsbewehrung pro Gurt infolge V,T  
erf  $a_{sw}$  : Statisch erforderliche Biegefläche pro Längeneinheit

### Resultatpunkte und Kombinationen

Formel / Resultat	Name	Max	Min	Einheit
ASW (SWY) oder ASW (SWZ)	ASW1	672	0	mm <sup>2</sup> /m