

# Erneuerung Waldenburgerbahn

233

## Los 4: Hölstein bis Hirschlang

Auflageprojekt

### Statische Berechnung

### N-08 Rampen- und Treppenbauwerk

Version 2.01 | 03. Mai 2019



Projektverfasser

Bauherrschaft  
BLT Baselland Transport AG



Astrid Börner



Reto Rotzler



Peter Baumann

## **Impressum**

---

Auftragsnummer WBZU 16-4.00-001

Auftraggeber BLT Baselland Transport AG

Datum 03. Mai 2019

Version 2.01

Autor(en) Michel Tawil

Freigabe BLT

Verteiler BLT, Prüfsingenieur WMM

Datei \\NTMUTTENZ\p\701907\07\_BER\2019-05-03 Dossier PGV\Grundlagedateien\233 Statische Berechnung N-08  
Rampen- und Treppenbauwerk 20190503.docx

Seitenanzahl 15

## **Inhalt**

|  |            |
|--|------------|
| <b>Änderungsverzeichnis</b>                      | <b>ii</b>  |
| <b>Zusammenfassung</b>                           | <b>iii</b> |
| <b>1 Einleitung</b>                              | <b>1</b>   |
| <b>2 Systembeschreibung</b>                      | <b>1</b>   |
| 2.1 Tragsystem                                   | 1          |
| 2.2 Systemskizzen                                | 2          |
| <b>3 Belastungen und Einwirkungen</b>            | <b>2</b>   |
| 3.1 Ständige Einwirkungen                        | 2          |
| 3.2 Veränderliche Einwirkungen                   | 2          |
| 3.3 Aussergewöhnliche Einwirkungen               | 3          |
| <b>4 Baustoffe</b>                               | <b>3</b>   |
| 4.1.1 Stahl                                      | 3          |
| 4.1.2 Bodenaustausch unter Fundamenten aus Beton | 3          |
| 4.1.3 Beton Fundamente und Sockel                | 3          |
| 4.1.4 Betonstahl                                 | 3          |
| 4.2 Baugrund                                     | 4          |
| <b>5 Berechnung</b>                              | <b>4</b>   |
| 5.1 Treppenstufen                                | 4          |
| 5.2 Rampe  | 5          |
| 5.3 Verbindung Speichen / Stege                  | 6          |
| 5.4 Speichen                                     | 7          |
| 5.5 Stützen                                      | 7          |
| 5.5.1 Erdbebenbemessung                          | 7          |
| 5.5.2 Anprall                                    | 8          |
| 5.6 Fundamente                                   | 9          |
| <b>6 Unterschriften</b>                          | <b>10</b>  |

## Änderungsverzeichnis

| REV. | ÄNDERUNG                   | URHEBER | DATUM      | BEMERKUNG |
|------|----------------------------|---------|------------|-----------|
| 2.0  | Erstversion Auflageprojekt | JS      | 28.02.2019 |           |
| 2.1  | Auflageprojekt definitiv   | JS      | 03.05.2019 |           |
| 2.2  |                            |         |            |           |

## Zusammenfassung

Das Rampen- und Treppenbauwerk (BLT-Arbeitsnummer N-08) ist Bestandteil des Projektes Erneuerung Waldenburgerbahn, Los 4 Hölstein - Hirschlang und liegt ca. bei Bahn-km 8.679 östlich der geplanten Stützmauer Perron (BLT-Arbeitsmauer N-06). Das Bauwerk dient als südlicher Bahnzugang zwischen der Dammstrasse und der geplanten Haltestelle Unterfeld in Hölstein - Unterfeld.

Die Notwendigkeit für einen Treppenturm ergibt sich aus dem Höhenunterschied zwischen der Dammstrasse und dem geplanten Perronniveau von ca. 5.0 m. Bei der maximal zulässigen Steigung von 10% ergibt sich somit eine Rampenlänge von 50 m. Da dieser Höhenunterschied durch Treppen in kürzerer Distanz überwunden werden kann, ist eine Wendeltreppe innerhalb des Bauwerkes vorgesehen. Zwischen den Treppenfolgen von 6 bzw. 8 Stufen werden Podeste angeordnet. Sowohl Rampe als auch Treppe haben eine lichte Breite von jeweils 2.0 m. Die obere Verbindungsplatte schliesst direkt an die Betonkonstruktion der Stützmauer Perron an.

Wesentliche Konstruktionselemente des Zugangsbauwerkes sind der zentrale, etwa 6.0 m hohe Mittelmast, dessen Fuß in einem zentralen Betonfundament eingespannt ist. Sowohl Treppe als auch Rampe werden jeweils über seitlich angeordnete runde Stützen getragen (8 Stützen aussen und 5 Stützen zwischen Rampe und Treppe). Das Gesamte Bauwerk besteht aus Stahlteilen.

## 1 Einleitung

Das im Folgenden beschriebene Rampen- und Treppenbauwerk (BLT-Arbeitsnummer N-08) ist Bestandteil des Projektes Erneuerung Waldenburgerbahn, Los 4 Hölstein - Hirschlang und liegt ca. bei Bahn-km 8.679 östlich der geplanten Stützmauer Perron (BLT-Arbeitsmauer N-06).

Die Notwendigkeit für einen Treppenturm ergibt sich aus dem Höhenunterschied zwischen der Dammstrasse und dem geplanten Perronniveau von ca. 5.0 m. Bei der maximal zulässigen Steigung von 10% ergibt sich somit eine Rampenlänge von 50 m. Da dieser Höhenunterschied durch Treppen in kürzerer Distanz überwunden werden kann, ist eine Wendeltreppe innerhalb des Bauwerkes vorgesehen. Zwischen den Treppenfolgen von 6 bzw. 8 Stufen werden Podeste angeordnet. Sowohl Rampe als auch Treppe haben eine lichte Breite von jeweils 2.0 m. Die obere Verbindungsplatte schliesst direkt an die Betonkonstruktion der Stützmauer Perron an.

Wesentliche Konstruktionselemente des Zugangsbauwerkes sind der zentrale, etwa 6.0 m hohe Mittelmast, dessen Fuß in einem zentralen Betonfundament eingespannt ist. Sowohl Treppe als auch Rampe werden jeweils über seitlich angeordnete runde Stützen getragen (8 Stützen aussen und 5 Stützen zwischen Rampe und Treppe). Das Gesamte Bauwerk besteht aus Stahlteilen.

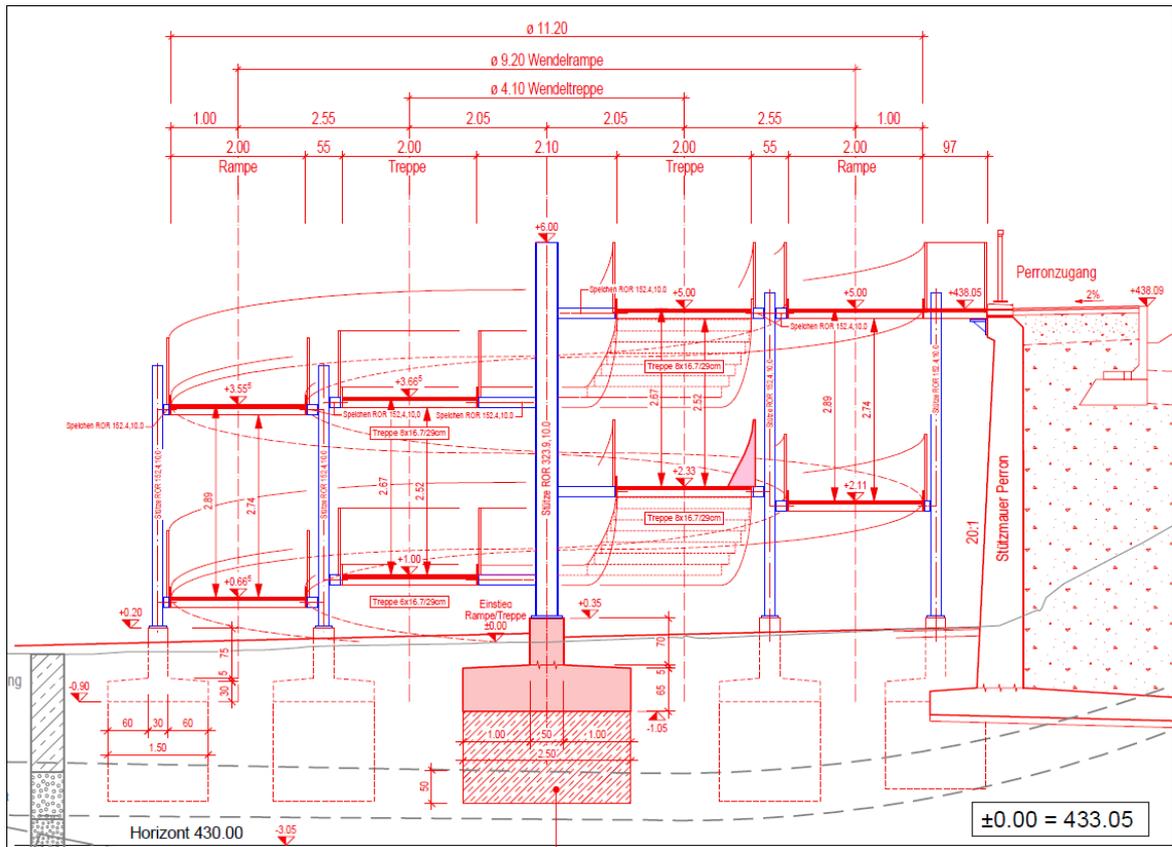
Die seitlichen Stahlwangen von Rampe und Treppe werden von radial angeordneten Tragelementen gehalten. Rampe und Treppe selbst bestehen aus ca. 15 - 20 mm starken Stahlplatten, die auf der Trittseite mit einem rutschhemmenden Spezialanstrich versehen werden.

## 2 Systembeschreibung

### 2.1 Tragsystem

Das Tragsystem besteht aus einem zentral eingespannten Stahlmast, radial angeordneten, ebenfalls in den Fundamenten eingespannten mittleren und äusseren Masten mit dazwischen aufgehängten Treppen und Rampen auf Stahlwangen.

## 2.2 Systemskizzen



## 3 Belastungen und Einwirkungen

### 3.1 Ständige Einwirkungen

|                       | Einwirkungen | Charakteristische Werte  | Referenz         |
|-----------------------|--------------|--|------------------|
| ständige Einwirkungen | Eigenlasten  | $\gamma_{\text{Beton}} = 25 \text{ kN/m}^3$<br>$\gamma_{\text{Stahl}} = 78.5 \text{ kN/m}^3$ | SIA 261, Tab. 28 |

### 3.2 Veränderliche Einwirkungen

|                            | Einwirkungen  | Charakteristische Werte   | Referenz             |
|----------------------------|---|---|----------------------|
| veränderliche Einwirkungen | Nicht motorisierter Verkehr:  |   |                      |
|                            | Lastmodell 1:   | $q_k = 4.0 \text{ kN/m}^2$  | SIA 261, Ziff. 9.2.2 |
|                            | Lastmodell 2:   | $Q_k = 10.0 \text{ kN}$ auf einer Fläche von $0.1 \times 0.1 \text{ m}$ |                      |
|                            | Geländer  | $q_k = 1.6 \text{ kN/m}$  | SIA 261, 13.2        |
| Temperatur                 | Da sich die Tragelemente dilatieren können (Stützen, Kreisplatten der Rampe und Treppe), wird der Einfluss der Temperatur auf das Tragwerk nicht weiter untersucht. |   | SIA 261, 7.2         |

Schnee ist gegenüber der Nutzlast nicht massgebend. Maximaler Schnee und maximale Nutzlast treten in diesem Fall nicht gleichzeitig auf.

### 3.3 Aussergewöhnliche Einwirkungen

|                                | Einwirkungen                   | Charakteristische Werte   | Referenz                                  |
|--------------------------------|--------------------------------|---|---|
| aussergewöhnliche Einwirkungen | Anprall von Strassenfahrzeugen | Frontaler Anprall innerorts: $Q_{0d,x} = 750 \text{ kN}$<br>Frontaler Anprall innerorts: $Q_{0d,y} = 300 \text{ kN}$<br>Diese Werte können bei der Bemessung der zwei äusseren Stützen nicht berücksichtigt werden. | SIA 261, Tabelle 21                       |
|                                | Erdbeben                       | Bauwerksklasse I<br>Bedeutungsfaktor $\gamma = 1.0$<br>Erdbebenzone Z2: $a_{gd} = 1.0 \text{ m/s}^2$<br>Baugrund vorwiegend Klasse E, gemäss geologisch geotechnischer Untersuchungen                               | SIA 261 Tabelle 24, 25<br>Ziffer 16.2.1.2 |

## 4 Baustoffe

### 4.1.1 Stahl

Bezeichnung S 235 JR, gemäss SIA 263, Ziff. 1.2.7 und Anhang A, Tabelle 18  
 Festigkeit Streckgrenze:  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

Schweissnähte Bewertungsgruppe: C, gemäss SIA 263, Ziff. 7.5.2.2

Schraubverbindungen Festigkeitsklasse: Mindestens 8.8 gemäss SIA 263, Tabelle 2

### 4.1.2 Bodenaustausch unter Fundamenten aus Beton

Bezeichnung NPK 0  
 Festigkeit C 12/15  
 Exposition X0(CH)  
 Grösstkorn  $D_{(max)} = 32 \text{ mm}$   
 Chloridgehalt Cl 0.10  
 Konsistenzklasse C3  
 AAR-Beständigkeit Klasse P2 gem. Merkblatt SIA 2042

### 4.1.3 Beton Fundamente und Sockel

Bezeichnung NPK F (T3)  
 Festigkeit C 30/37  
 Exposition XC4(CH), XD3(CH), XF2(CH)  
 Grösstkorn  $D_{(max)} = 32 \text{ mm}$   
 Chloridgehalt Cl 0.10  
 Konsistenzklasse C3  
 AAR-Beständigkeit Klasse P2 gem. Merkblatt SIA 2042

### 4.1.4 Betonstahl

Betonstahl: B 500 B

## 4.2 Baugrund

Bodenmechanische Kennwerte:

Künstliche Auffüllung:

$$\begin{aligned}\gamma_k &= 20.5 \text{ kN/m}^3 \\ \varphi'_k &= 25^\circ \\ c'_k &= 2 \text{ kN/m}^2 \\ M_{E,k} &\approx 10 \text{ MN/m}^2\end{aligned}$$

Mischschotter:

$$\begin{aligned}\gamma_k &= 21 \text{ kN/m}^3 \\ \varphi'_k &= 34^\circ \\ c'_k &= 0 \text{ kN/m}^2 \\ M_{E,k} &\approx 40 \text{ MN/m}^2\end{aligned}$$

Oberflächlich verwitterter Fels:

$$\begin{aligned}\gamma_k &= 22 \text{ kN/m}^3 \\ \varphi'_k &= 31^\circ \\ c'_k &= 12 \text{ kN/m}^2 \\ M_{E,k} &\approx 80 \text{ MN/m}^2\end{aligned}$$

## 5 Berechnung

### 5.1 Treppenstufen

Stufenabmessungen:  $h = 16.7 \text{ cm}$ ,  $b = 29 \text{ cm}$

Wirkende geometrische Abmessungen einer Stufe:

oberer Flansch:  $b * h = 145 \text{ mm} * 20 \text{ mm}$

vertikaler Steg:  $b * h = 20 \text{ mm} * (167 - 20 - 20) = 20 \text{ mm} * 127 \text{ mm}$

unterer Flansch:  $b * h = 145 \text{ mm} * 20 \text{ mm}$

Fläche:  $A = 2 * 145 * 20 + 20 * 127 = 8'340 \text{ mm}^2$

Wirkende Fläche für Schub:  $A_w = 20 * 167 = 3'340 \text{ mm}^2$

Trägheitsmoment:

$$I = 2 * 145 * 20 * 73.5^2 + 20 * 127^3 / 12 = 31.3 * 10^6 + 3.4 * 10^6 = 34.7 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Widerstandsmoment:

$$W = I / (h/2) = 34.7 * 10^6 / 73.5 = 472 * 10^3 \text{ mm}^3$$

Last auf eine Stufe:

$$g_{\text{Stahl}} = 5'860 \text{ mm}^2 / 1 * 10^6 * 78.5 \text{ kN/m} = 0.46 \text{ kN/m}$$

$$g_{\text{Belag}} = 290 \text{ mm} / 1 * 10^3 * 20 \text{ mm} / 1 * 10^3 * 24 \text{ kN/m}^3 = 0.14 \text{ kN/m}$$

$$q = 290 \text{ mm} / 1 * 10^3 * 4.0 \text{ kN/m}^2 = 1.2 \text{ kN/m}$$

$$p_d = 1.35 * (0.46 + 0.14) + 1.5 * 1.2 = 2.61 \text{ kN/m}$$

Bemessung:

Spannweite: 2.0 m

$$M_d = 2.61 \cdot 2.0^2 / 8 = 1.3 \text{ kNm}$$

$$\sigma_d = 1.3 \cdot 10^6 / 472 \cdot 10^3 = 2.8 \text{ N/mm}^2 \leq f_y / \gamma_{M1} = 235 / 1.05 = 223 \text{ N/mm}^2$$

Seitliche Randbleche die von Stütze zu Stütze spannen:

Wirkende geometrische Abmessungen:

vertikaler Steg:  $b \cdot h = 20 \text{ mm} \cdot 300 \text{ mm}$

Fläche:  $A = 20 \cdot 300 = 6'000 \text{ mm}^2$

Wirkende Fläche für Schub:  $A_w = 20 \cdot 300 = 6'000 \text{ mm}^2$

Trägheitsmoment:  $I = 20 \cdot 300^3 / 12 = 45 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

Widerstandsmoment:  $W = I / (h/2) = 45 \cdot 10^6 / 150 = 300 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Last pro Laufmeter => Last aus 3.45 Stufe:

$$g_{\text{Stahl}} = 0.46 \text{ kN/m} \cdot 2.0 \text{ m} / 2 \cdot 3.45 + 0.47 \text{ kN/m} \text{ (Steg)} = 2.1 \text{ kN/m}$$

$$g_{\text{Belag}} = 0.14 \text{ kN/m} \cdot 2.0 \text{ m} / 2 \cdot 3.45 = 0.48 \text{ kN/m}$$

$$g_{\text{Geländer}} = 0.3 \text{ kN/m}$$

$$q = 4.0 \text{ kN/m}^2 \cdot 2.0 \text{ m} / 2 = 4.0 \text{ kN/m}$$

$$p_d = 1.35 \cdot (2.1 + 0.48 + 0.3) + 1.5 \cdot 4.0 = 9.9 \text{ kN/m}$$

Bemessung:

Spannweite: 3.5 m

$$M_d = 9.9 \cdot 3.5^2 / 8 = 15.2 \text{ kNm}$$

$$\sigma_d = 15.2 \cdot 10^6 / 300 \cdot 10^3 = 51 \text{ N/mm}^2 \leq f_y / \gamma_{M1} = 235 / 1.05 = 223 \text{ N/mm}^2$$

## 5.2 Rampe

Dicke: 20 mm

Fläche:  $A = 1'000 \cdot 20 = 20'000 \text{ mm}^2$

Trägheitsmoment:

$$I = 1'000 \cdot 20^3 / 12 = 667 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

Widerstandsmoment:

$$W = I / (h/2) = 667 \cdot 10^6 / 10 = 66.7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Last:

$$g_{\text{Stahl}} = 20 \text{ mm} / 1 \cdot 10^3 \cdot 78.5 \text{ kN/m} = 1.57 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{\text{Belag}} = 20 \text{ mm} / 1 \cdot 10^3 \cdot 24 \text{ kN/m}^3 = 0.48 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 4.0 \text{ kN/m}^2$$

$$p_d = 1.35 \cdot (1.57 + 0.48) + 1.5 \cdot 4.0 = 8.8 \text{ kN/m}^2$$

Bemessung:

Spannweite: 2.0 m

$$M_d = 8.8 \cdot 2.0^2 / 8 = 4.4 \text{ kNm}$$

$$\sigma_d = 4.4 \cdot 10^6 / 66.7 \cdot 10^3 = 66 \text{ N/mm}^2 \leq f_y / \gamma_{M1} = 235 / 1.05 = 223 \text{ N/mm}^2$$

Kontrolle der Durchbiegung:

Die Tragfähigkeit der Platte liegt um ein mehrfaches höher als die Belastung. Dadurch, dass es sich um eine Platte handelt, wird trotzdem noch die Gebrauchstauglichkeit überprüft (Durchbiegung).

$$w_g = 5/384 * (1.57 + 0.48) * 2'000^4 / (210 * 10^3 * 667 * 10^3) = 3.0 \text{ mm} > l/700 = 2.9 \text{ mm}$$

$$w_q = 5/384 * 4.0 * 2'000^4 / (210 * 10^3 * 667 * 10^3) = 5.9 \text{ mm} > l/600 = 3.3 \text{ mm}$$

Es werden alle 100 cm ein UNP 100 unterhalb der Platte angeschweisst.

$$w_g = 5/384 * (1.57 + 0.48) * 2'000^4 / (210 * 10^3 * 2.06 * 10^6) = 1.0 \text{ mm} < l/700 = 2.9 \text{ mm}$$

$$w_q = 5/384 * 4.0 * 2'000^4 / (210 * 10^3 * 2.06 * 10^6) = 2.0 \text{ mm} < l/600 = 3.3 \text{ mm}$$

Seitliche Randbleche die von Stütze zu Stütze spannen:

Wirkende geometrische Abmessungen:

$$\text{vertikaler Steg: } b * h = 20 \text{ mm} * 300 \text{ mm}$$

$$\text{Fläche: } A = 20 * 300 = 6'000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Wirkende Fläche für Schub: } A_w = 20 * 300 = 6'000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Trägheitsmoment: } I = 20 * 300^3 / 12 = 45 * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\text{Widerstandsmoment: } W = I / (h/2) = 45 * 10^6 / 150 = 300 * 10^3 \text{ mm}^3$$

Last pro Laufmeter => Last aus 3.45 Stufe:

$$g_{\text{Stahl}} = 1.57 \text{ kN/m} + 0.106 \text{ kN/m (UNP 100)} + 0.47 \text{ kN/m (Steg)} = 2.2 \text{ kN/m}$$

$$g_{\text{Belag}} = 0.48 \text{ kN/m}$$

$$g_{\text{Geländer}} = 0.3 \text{ kN/m}$$

$$q = 4.0 \text{ kN/m}$$

$$p_d = 1.35 * (2.2 + 0.48 + 0.3) + 1.5 * 4.0 = 10.0 \text{ kN/m}$$

Bemessung:

$$\text{Spannweite: } 4.4 \text{ m}$$

$$M_d = 10.0 * 4.4^2 / 8 = 24.2 \text{ kNm}$$

$$\sigma_d = 24.2 * 10^6 / 300 * 10^3 = 81 \text{ N/mm}^2$$

### 5.3 Verbindung Speichen / Stege

Verbindung zwischen vertikale Stege und Speichen (ROR 152.4 x 10.0)

Um den Transport und die Montage zu vereinfachen und um die Langlebigkeit des Bauwerks zu gewährleisten werden die Verbindungen zwischen den seitlichen Stegen und den Speichen mit Schrauben erstellt:

Massgebende Last, die zu übertragen ist:

$$V_d = 10.0 \text{ kN/m} * 4.4 \text{ m} = 44 \text{ kN}$$

Bereits eine Schraube M 16, Stahlqualität 10.9 kann mehr als diese Last aufnehmen (Plattenstärke 10 mm):

$$V_{Rd} = 83 \text{ kN (Lochleibung massgebend)}$$

Für die Verbindungen werden 2 Schrauben M 16, 10.9 eingebaut.

Die Verbindung zwischen der Stirnplatte und ROR 152.4 x 10.0 erfolgt mit einer 4 mm dicken Schweissnaht:

Umriss  $u = 479$  mm

$V_{Rd} = 360$  kN

## 5.4 Speichen

Kontrolle des Schubs in den Speichen:

$$\tau_d = 44 \cdot 10^3 / 4'470 \text{ mm}^2 = 10.0 \text{ N/mm}^2 \leq \tau_{Rd} = 135 \text{ N/mm}^2$$

## 5.5 Stützen

Mit Ausnahme der Innenstütze (ROR 323.9 x 10.0) sind alle Stützen vom Typ ROR 152.4 x 10.0

Last pro Befestigungspunkt:  $N_d = 2 \cdot 44 \text{ kN} = 88 \text{ kN}$

Auflagerhöhe:  $h = 4.4$  m und  $h = 2.0$  m

Somit insgesamt:  $N_d = 2 \cdot 88 \text{ kN} = 176 \text{ kN}$

Mittlere Höhe auf der sicheren Seite: 3.5 m

$l_k = 2 \cdot 3.5 = 7.0$  m

$$N_d = 176 \text{ kN} \leq N_{Rd} = 350 \text{ kN}$$

### 5.5.1 Erdbebenbemessung

Gemäss SIA 260, Tabelle 8, wird die Nutzlast nicht angesetzt.

Zusammenstellung der Lasten:

$$N_d \text{ Erdbeben} = 41 \text{ kN}$$

Höhe der Angriffsfläche ab OK Fundamentsockel:

20.5 kN auf + 4.4 m

20.5 kN auf + 2.0 m

Bauwerksklasse I:  $\gamma_f = 1.0$

Erdbebenzone Z2 =>  $a_{gd} = 1.0 \text{ m/s}^2$

Baugrundklasse E:

$S = 1.4$ ;  $T_B = 0.15$  s;  $T_C = 0.5$ ;  $T_D = 2.0$ ;  $l_g = 500$  m

Grundschwingzeit: (Art. 16.5.2.3, Seite 71)

$$T_1 = C_t h^{0.75}$$

$$C_t = 0.05$$

$$T_1 = 0.05 \cdot 4.4^{0.75} = 0.152 \text{ s}$$

$$T_B \leq T_1 \leq T_C$$

$$\Rightarrow S_d = 2.5 \cdot \gamma_f \cdot a_{gd}/g \cdot S/q$$

$$= 2.5 * 1.0 * 1.0/9.81 * 1.0/2.0 \\ = 0.13$$

$$\text{Horizontale Ersatzkraft: } F_d = S_d(T_1) * \sum_j (G_k + \sum \psi_2 \cdot Q_k)_j$$

$$\psi_{2\text{Nutzlast}} = 0.0$$

$$\text{Somit ist } F_d = 0.13 * (20.5 + 20.5) \\ = 0.13 * 41 \\ = 5.4 \text{ kN}$$

Angreifende Lasten in den verschiedenen Ebenen:

$$F_{di} = F_d * (z_i * (G_k + \sum \psi_2 Q_k)_i) / (\sum_j z_j * (G_k + \sum \psi_2 Q_k)_j)$$

$$(\sum_j z_j (G_k + \sum \psi_2 Q_k)_j) = 4.4 * 20.5 + 2.0 * 20.5 = 131 \text{ kN.m}$$

$$F_d (+ 2.0 \text{ m}) = 5.4 * (2.0 * 20.5 / 131) = 1.7 \text{ kN}$$

$$F_d (+ 4.4 \text{ m}) = 5.4 * (4.4 * 20.5 / 131) = 3.7 \text{ kN}$$

Schubkraft und Moment im Einspannhorizont (Decke über 1. UG):

$$V_d = 5.4 \text{ kN}$$

$$M_d = 1.7 * 2.0 + 3.7 * 4.4 = 19.7 \text{ kNm}$$

Überprüfung des Stahlprofils:

$$M_{Rd} = 355 \text{ N/mm}^2 * 150 * 10^3 = 53 \text{ kNm} \geq M_d = 19.7 \text{ kNm}$$

Hebelarm der Stützenverankerungen im Fundamentsockel:

$$a = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Zugkraft in den Verankerungen: } Z_d = 19.7 / (2 * 0.15) = 66 \text{ kN}$$

Einbetonierte Verankerung  $\varnothing 14 \text{ mm}$ :

$$Z_{Rd} = \pi * r^2 * f_{sd} = \pi * 7^2 * 435 = 67 \text{ kN}$$

Es werden 4  $\varnothing 16 \text{ mm}$  eingebaut.

Die Innere Stütze hat eine ähnliche Erdbebenkraft aufzunehmen und wird am Fuss ebenfalls mit 4  $\varnothing 16 \text{ mm}$  verankert

### 5.5.2 Anprall

Die zwei äusseren Stützen (zur Strasse hin) sind Anprallgefährdet.

Die Anprallkraft von  $Q_{0d,*} = 750 \text{ kN}$  wirkt in einer Höhe von 1.5 m ab OK Fahrbahn. Dies bedeutet, dass der Abstand zwischen Anprallkraft und OK Rampe ca. 60 cm hoch ist.

$$M_{d, \text{Anprall}} = 750 * 0.6 = 450 \text{ kNm}$$

$$V_{d, \text{Anprall je Stütze}} = 750 \text{ kN}$$

Diese Beanspruchung ist immer sehr hoch und kann nicht von der Stütze aufgenommen werden.

Die zwei exponierten Stützen müssen gegen Anprall geschützt werden z.B. durch eine Leitplanke oder ähnliche Elemente entlang der Strasse.

## 5.6 Fundamente

Maximale Vertikallast:

$$N = 120 \text{ kN}$$

Fundamentabmessungen:  $1.5 \text{ m} * 1.5 \text{ m} = 2.25 \text{ m}^2$

Bodenpressung  $\sigma = 120 / 2.25 = 53 \text{ kN/m}^2 \leq \sigma_{zul.} = 200 \text{ kN/m}^2$  (Mischschotter)

Lastfall Erdbeben:

$$N_d = 41 \text{ kN} + (1.5 * 1.5 * 0.32 + 0.3 * 0.3 * 0.75) * 2.25 \text{ kN/m}^3 = 41 + 19.7 = 60.7 \text{ kN}$$

$$M_d = 19.7 \text{ kNm}$$

$$e = M/N = 0.32 \text{ m}$$

$$b = 1.5 \text{ m}, b' = 1.5 \text{ m}$$

$$c = b/2 - e = 0.75 - 0.32 = 0.43 \text{ m}$$

$$3 * c = 1.29 \text{ m}$$

$$\sigma = 2 N / (3 * b' * c) = 2 * 60.7 / (3 * 1.5 * 0.43) = 63 \text{ kN/m}^2$$

Die Fundamentabmessungen sind grosszügig gewählt worden. Je nach Bodenbeschaffenheit und angesichts der kleinen Pressungen kann lokal auf die Betonsporen verzichtet werden.

## 6 Unterschriften

Ort:

Datum:

Unterschrift:

### Der Projektverfasser

IG Zugkunft  
c/o Basler & Hofmann AG  
Bachweg 1  
8133 Esslingen

Esslingen, .....

### Der Prüferingenieur

WMM Ingenieure AG  
Florenz-Strasse 1D  
4142 Münchenstein

Münchenstein, .....