

# Doppelspur Dietikon

13.5



Aargau Verkehr AG

Projektverfasser

Ort, Datum

Unterschriften

Ort, Datum

Unterschriften

Zürich, 31.07.2019

" sign. M. Grünenfelder "

" sign. D. Giger "

Zürich, 31.07.2019

" sign. B. Koller "

Stv. CEO und Grossprojekte  
(Mathias Grünenfelder)

Leiter Infrastruktur  
(Daniel Giger)

(Bernard Koller)

Version	Verfasser			Bemerkungen	Format	Plan Nummer
	Datum	Name	Visum			
0	31.05.19	LEM	KOB	Dokumente für Ämterzirkulation	A4	115000455.32.34
A	31.07.19	KSJ	KOB	PGV-Dossier	A4	115000455.32.34_A
B						
C						
D						



**Aargau  
Verkehr**

Bearbeitungsstufe:

Auflageprojekt

Gemeinde:

Dietikon

Strasse:

Bernstrasse - Bremgartnerstrasse

Strecke:

Bremgarten – Dietikon

km / Bauwerk:

Km 16.590 – 18.400

Vorhaben:

Aargau Verkehr, Doppelspur BD, Dietikon



Kanton Zürich  
Baudirektion  
Tiefbauamt

Projektieren und Realisieren

## Statischer Bericht Bachdurchlass

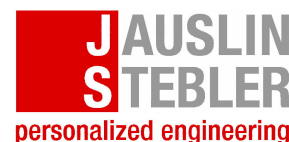
### Tobelbach

Projekt Nummer:

115000455-001

Projektverfasser

INGE Doppelspur



Dokumentenkontrolle	
Autor	Bernard Koller
Telefon	
E-Mail	
Erstellt am	31.07.2019
Status	Definitiv
Klassifizierung	PGV-Dossier
Dateiname	Statischer Bericht DL Tobelbach

## Inhaltsverzeichnis

1	<b>Ausgangslage.....</b>	<b>4</b>
1.1	Einleitung .....	4
1.2	Projektrundlagen .....	4
2	<b>Statisches Konzept.....</b>	<b>4</b>
2.1	Nutzung.....	4
2.2	Nachweise .....	4
3	<b>Baugrund.....</b>	<b>5</b>
3.1	Baugrundmodell .....	5
3.2	Hydrologie.....	5
4	<b>Materialkennwerte.....</b>	<b>6</b>
4.1	Bestehende Bauteile .....	6
4.2	Neue Bauteile.....	6
5	<b>Einwirkungen.....</b>	<b>7</b>
5.1	Eigenlasten / Auflasten .....	7
5.2	Veränderliche Einwirkungen .....	7
5.3	Aussergewöhnliche Einwirkungen.....	8
6	<b>Gefährdungsbilder Tragsicherheit.....</b>	<b>9</b>
6.1	Baugrubensicherung Bauphase.....	9
6.2	Durchlass Endzustand.....	9
7	<b>Gefährdungsbilder Gebrauchstauglichkeit.....</b>	<b>9</b>
7.1	Baugrubensicherung Bauphase.....	10
7.2	Durchlass Endzustand.....	10
8	<b>Bemessung Rohrprofil.....</b>	<b>10</b>
8.1	Endzustand Tragsicherheit .....	10
8.2	Endzustand Gebrauchstauglichkeit.....	11
9	<b>Bemessung Baugrubensicherungen .....</b>	<b>12</b>
9.1	Allgemeines.....	12
9.2	DL Tobelbach, Bauphase 1.1 .....	13
9.3	DL Tobelbach, Bauphase 1.2 .....	17
10	<b>Anhänge.....</b>	<b>20</b>

# 1 Ausgangslage

## 1.1 Einleitung

Durch den Doppelspurausbau der BD muss der Bachdurchlass Tobelbach verlängert werden. Er besteht sowohl unter der Bahn als auch unter der Kantonsstrasse aus einem überschütteten Kreisprofil, in welchem ein Gerinne mit beweglicher Sohle, Böschungen und beidseitigen Vorländern geschaffen werden. Der neue Durchlass besteht aus einem durchgehenden Abschnitt.

## 1.2 Projektrundlagen

### 1.2.1 Normen

[1]	SIA 190	(2017)	Kanalisationen
[2]	SIA 260	(2013)	Grundlagen der Projektierung von Tragwerken
[3]	SIA 261	(2014)	Einwirkungen auf Tragwerke
[4]	SIA 262	(2013)	Betonbau
[5]	SIA 267	(2013)	Geotechnik

### 1.2.2 Projektbezogen

- [6] SWR Infra AG, Dietikon Doppelspur-Ausbau BDWM: Querung Stoffelbach, Studie
- [7] Geologisch-geotechnische Abklärungen, Geotest AG, 07.06.2018

### 1.2.3 Literatur / Software

- [8] Larix-7, Cubus AG
- [9] Statik-7, Cubus AG
- [10] Microsoft Word, Excel

# 2 Statisches Konzept

## 2.1 Nutzung

Das Durchlassbauwerk wird als Bachdurchlass unterhalb einer Doppelspur (Meterspur) und einem Strassenverkehrsträger (Bernstrasse) genutzt. Die Einwirkungen liegen dabei nicht gleichzeitig vor, sondern wechseln im Längsverlauf des Kanalbauwerkes.

Für den mehrphasigen Bauablauf sind Baugrubensicherungen zu allen Verkehrsträgern notwendig.

## 2.2 Nachweise

Für das generelle Vorgehen und die Festlegung der Einwirkungen gilt die SIA 260 und 261. Für den Endzustand des Durchlassbauwerkes werden die Nachweise im Grenzzustand der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit resp. die Dimensionierung der Rohrprofile aus Stahlbeton gemäss SIA 190 / 262 und 267 vorgenommen.

Die Baugrubensicherungen werden als verankerte Rühlwände mit Spritzbetonausfachung werden nach SIA 262 und 267 dimensioniert.

### 3 Baugrund

#### 3.1 Baugrundmodell

Der Baugrund im Perimeter des Durchlass Tobelbach besteht im Wesentlichen aus 3 Schichten. Der Aufbau des Unterbaus besteht demnach aus einer bis ca. 2.20 m mächtigen Schicht aus künstliche Auffüllungen. Darunter lagern Gehängeablagerungen bis ca. 3.0 m Tiefe, unter denen eine unterschiedlich mächtige Moräne-Schicht zu finden ist.

Die oberen Schichten sind gering tragfähig und setzungsanfällig so dass die Bauwerksfundation innerhalb der Moräne oder einem Bodenaustausch vorgenommen wird.

Die schlecht tragfähigen und setzungsempfindlichen Oberflächenschichten kommen als Fundationsunterlage für die Trasseeverbreiterung entlang der Bernstrasse nicht in Frage. Die heterogenen Gehängeablagerungen können als mässig gut tragfähiger und teilweise setzungsempfindlicher Baugrund bezeichnet werden. Die Moräne ist dicht gelagert und stellt einen gut tragfähigen und nur wenig setzungsempfindlichen Baugrund dar. Bei einer unvermeidlichen Fundation der Trasseeschüttung auf den Gehängeablagerungen sind diese mit zusätzlichen stabilisierenden Massnahmen vorgängig zu verfestigen (z.B. Bodenaustausch bis auf Moräne-Horizont oder Rüttelstopfsäulen).

Schicht	Material	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$M_{E1}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	$M_{E2}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	k [m/s]
<b>A/R</b>	Oberflächenschichten / künstliche Auffüllungen	<b>19.5</b> (19 - 20)	<b>26</b> (24 - 28)	<b>0</b>	–	–	<b>klein</b>
<b>Co</b>	Gehängeablagerungen	<b>20</b> (20 - 21)	<b>28</b> (26 - 30)	<b>0</b>	<b>8</b> (5 - 15)	<b>20</b> (10 - 30)	<b>klein</b>
<b>M</b>	Moräne	<b>21</b> (20 - 22)	<b>32</b> (30 - 34)	<b>5</b> (2 - 8)	<b>30</b> (25 - 40)	<b>80</b> (70 - 100)	<b>klein bis sehr klein</b>

Abbildung 1: Baugrundkennwerte

#### 3.2 Hydrologie

Hangwasser sickert im Bereich der Bernstrasse entlang der sandig-kiesigen Partien innerhalb des Moränenmaterials. Der Hangwasserspiegel unterliegt starken Schwankungen.

## 4 Materialkennwerte

### 4.1 Bestehende Bauteile

Im Rahmen des Projektes sind keine bestehenden Bauteile zu berücksichtigen. Das bestehende Durchlassbauwerk wird vollständig zurückgebaut und ersetzt.

### 4.2 Neue Bauteile

Bezeichnung	Bauteil	Bemessungswerte	charakteristische Werte
<b>Beton vorfabriziert (Annahme, abweichende Festlegung durch Hersteller möglich)</b>			
Beton NPK C C30/37 XC4(CH), XF1(CH) Dmax 32 mm CI 0.10	Rohrprofile	$f_{cd} = 20 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{cd} = 1.1 \text{ N/mm}^2$ $E_{cd} = 33'600 \text{ kN/mm}^2$ $\epsilon_{C1d} = 2 \text{ ‰}$ $\epsilon_{C2d} = 3 \text{ ‰}$	$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$ $f_{ctm} = 2.9 \text{ N/mm}^2$ $E_{cm} = 33'600 \text{ kN/mm}^2$ $\gamma_{ck} = 25 \text{ kN/m}^3$ $\phi(t, t_0) = 2.0$
<b>Betonstahl</b>			
B500B	Generell	$f_{sd} = 435 \text{ N/mm}^2$ $E_s = 205'000 \text{ N/mm}^2$ $k_s = (f_t / f_s)_k \geq 1.08$ $\epsilon_{ud} = 45 \text{ ‰}$	$f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2$ $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$ $\gamma_{sk} = 78.50 \text{ kN/m}^3$ $\epsilon_{uk} = 50 \text{ ‰}$
<b>Baustahl (temporär)</b>			
S 355 J0	Rühlwandträger	$E = 210'000 \text{ N/mm}^2$ $G = 81'000 \text{ N/mm}^2$ $f_{yd} = 338 \text{ N/mm}^2$ $f_{ud} = 408 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{yd} = 195 \text{ N/mm}^2$	$E = 210'000 \text{ N/mm}^2$ $G = 81'000 \text{ N/mm}^2$ $f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$ $f_u = 510 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{yk} = 205 \text{ N/mm}^2$ $\gamma_{sk} = 78.50 \text{ kN/m}^3$
S 235 JR	Longarine	$E = 210'000 \text{ N/mm}^2$ $G = 81'000 \text{ N/mm}^2$ $f_{yd} = 223.8 \text{ N/mm}^2$ $f_{ud} = 288.0 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{yd} = 128.6 \text{ N/mm}^2$	$E = 210'000 \text{ N/mm}^2$ $G = 81'000 \text{ N/mm}^2$ $f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2$ $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{yk} = 135 \text{ N/mm}^2$ $\gamma_{sk} = 78.50 \text{ kN/m}^3$
<b>Spritzbeton (temporär)</b>			
SC-11-8 (SC2) C25/30 XF1 CI 0.20	Ausfachung der Rühlwände	$f_{cd} = 16.5 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{cd} = 1.0 \text{ N/mm}^2$ $E_{cd} = 33'600 \text{ kN/mm}^2$	$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$ $f_{ctm} = 2.6 \text{ N/mm}^2$ $E_{cm} = 33'600 \text{ kN/mm}^2$ $\gamma_{ck} = 25 \text{ kN/m}^3$
<b>Geotechnische Anker (temporär &lt; 2 Jahre)</b>			
Swiss GEWI B500B	Verankerung Rühlwand	-	$E = 205'000 \text{ N/mm}^2$ $f_{sk} = f_{p0,2k} = 500 \text{ N/mm}^2$ $f_{pk} = 550 \text{ N/mm}^2$ $\gamma_{sk} = 78.50 \text{ kN/m}^3$

Tabelle 1: Kennwerte neue Bauteile



## 5 Einwirkungen

### 5.1 Eigenlasten / Auflasten

Einwirkung	Charakteristischer Wert
<b>Eigenlasten</b>	
Stahlbeton	$\gamma_G = 25 \text{ kN/m}^3$
Hinterfüllung / Oberbau	$\gamma_G = 20 \text{ kN/m}^3$ (Mittelwert)
Schotterbett inkl. Schwellen / Schienen	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
<b>Auflasten</b>	
Geländer	$g_k = 1.0 \text{ kN/m}$

Tabelle 2: Eigenlasten

### 5.2 Veränderliche Einwirkungen

#### 5.2.1 Bauphase (Baugrubensicherungen)

Einwirkung	Bemessungswert
Schnee	Nicht massgebend
Wind	Nicht massgebend
<b>Bahnverkehr</b>	<b>SIA 261 Kapitel 12 (Schmalspur)</b>
LM4	$Q_k = 2 \times 130 \text{ kN}$ <span style="float: right;"><math>q_k = 25 \text{ kN/m}</math></span>
Anfahr- und Bremskräfte	Nicht massgebend
Schlingerkräfte	Nicht massgebend
Zentrifugalkräfte	Nicht massgebend
Erddruck aus Bahnlasten (Schmalspur, $s = 1.0 \text{ m}$ )	Lastverteilung gemäss SIA 261, 12.2.1.4 $\sum Q_k = 2 \times 130 \text{ kN} = 260 \text{ kN}$ Verteilbreite = $2 \times s$ <span style="float: right;">= 2.00 m</span> Verteillänge = $0.80 + 1.60 + 0.80$ <span style="float: right;">= 3.20 m</span> Kein dynamischer Beiwert $q_k = 260 / (2.0 \times 3.2) = 40.6 \text{ kN/m}^2$ bei 60 cm unter SOK
<b>Strassenverkehr</b>	<b>SIA 261 Kapitel 10</b>
Erddruck aus LM1	SIA 261, 10.2.2.8 und Figur 12 a und h gemäss untersuchtem Schnitt
<b>Personenverkehr</b>	<b>SIA 261 Kapitel 9</b>
Menschenansammlung	SIA 261, 9.2.2 $q_k = 4.0 \text{ kN/m}^2$

Tabelle 3: Veränderliche Einwirkungen, Bauphase

### 5.2.2 Endzustand (Rohr)

Einwirkung	Bemessungswert
Schnee	Nicht massgebend
Wind	Nicht massgebend
<b>Bahnverkehr</b>	<b>SIA 190, Kapitel 4.2 (Schmalspur)</b>
LM4	$Q_k = 2 \times 130 \text{ kN}$ $q_k = 25 \text{ kN/m}$ Dyn. Beiwert gemäss SIA 190, 4.2.3.12 $\Psi = 1.4 - 0.1 \cdot (H - 0.5) = 1.4 - 0.1 \cdot (1.1 - 0.5) = 1.34 \quad \geq 1.0$ Beiwert Normlastmodell gemäss SIA 190, 4.2.3.13 $\alpha = 1.0$ Reduktion gemäss SIA 190, 4.2.3.11 $q_{S2} = 48 \text{ kN/m}^2 \cdot 0.5 \cdot 1.00 \cdot 1.34 = 32.2 \text{ kN/m}^2$
<b>Strassenverkehr</b>	<b>SIA 190, Kapitel 4.2 (Lastmodell 1)</b>
LM1	Beiwert Normlastmodell gemäss SIA 190, 4.2.3.9 $\alpha = 0.9$ $H = 1.10 \text{ m}$ Gesamte Strassenverkehrslast (SIA 190, Anhang C.4) $q_{S2} = 79.7 \cdot 0.9 = 71.7 \text{ kN/m}^2$ Einzelne Radlast (SIA 190, Anhang C.3) $q_{S2} = 38.9 \cdot 0.9 = 35.0 \text{ kN/m}^2$

Tabelle 4: Veränderliche Einwirkungen, Endzustand

### 5.3 Aussergewöhnliche Einwirkungen

Für den Durchlass sind aussergewöhnliche Einwirkungen weder in der Bauphase noch im Endzustand relevant.



## 6 Gefährdungsbilder Tragsicherheit

Andauernde Situation

$$E_d = \gamma_G G_k, \gamma_{Q1} Q_{k1}, \psi_{0i} Q_{ki}$$

SIA 260, 4.4.3.4

### 6.1 Baugrubensicherung Bauphase

Gefährdungsbild / Bemessungssituation	Grenzzustand	Lastfall	Beiwerte
<i>Legende: LE = Leiteinwirkung, ST = ständige Einwirkung, BE = Begleiteinwirkung</i> <i>Erddruck aus veränderlichen Einwirkungen an der Oberfläche wird mit <math>\gamma_Q = 1.35</math> berücksichtigt.</i>			
Bahnlast Erddruck	Typ 2	LE: Bahnlast ST: Erddruck Bodeneigengewicht	$\gamma_Q = 1.45$ (1.35) $\gamma_G = 1.35$
Strassenverkehr Erddruck	Typ 2	LE: Strassenverkehr ST: Erddruck Bodeneigengewicht	$\gamma_Q = 1.50$ (1.35) $\gamma_G = 1.35$

Tabelle 5: Gefährdungsbilder Tragsicherheit Bauphase

### 6.2 Durchlass Endzustand

Gefährdungsbild / Bemessungssituation	Grenzzustand	Lastfall	Beiwerte
<i>Legende: LE = Leiteinwirkung, ST = ständige Einwirkung, BE = Begleiteinwirkung</i>			
Bahnlast Erddruck	Typ 2	LE: Bahnlast ST: Erddruck Bodeneigengewicht	$\gamma_Q = 1.45$ $\gamma_G = 1.35$

Tabelle 6: Gefährdungsbilder Tragsicherheit Endzustand

## 7 Gefährdungsbilder Gebrauchstauglichkeit

Seltene Situation

$$E_d = G_k, Q_{k1}, \psi_{0i} Q_{ki}$$

SIA 260, 4.4.4.4

Häufige Situation

$$E_d = G_k, \psi_{11} Q_{k1}, \psi_{2i} Q_{ki}$$

SIA 260, 4.4.4.4

Quasi-ständige Situation

$$E_d = G_k, \psi_{2i} Q_{ki}$$

SIA 260, 4.4.4.4

## 7.1 Baugrubensicherung Bauphase

Gefährdungsbild / Bemessungssituation	Grenzzustand	Lastfall	Beiwerte
<i>Legende: LE = Leiteinwirkung, ST = ständige Einwirkung, BE = Begleiteinwirkung</i>			
Bahnlast Erddruck	selten	LE: Lastmodell 4 ST: Erddruck Bodeneigengewicht	$\psi_0 = 1.00$ $\psi_G = 1.00$
Verkehrslast Erddruck	selten	LE: Lastmodell 1 ST: Erddruck Bodeneigengewicht	$\psi_0 = 0.75$ $\psi_G = 1.00$

Tabelle 7: Gefährdungsbilder Gebrauchstauglichkeit Bauphase

## 7.2 Durchlass Endzustand

Gefährdungsbild / Bemessungssituation	Grenzzustand	Lastfall	Beiwerte
<i>Legende: LE = Leiteinwirkung, ST = ständige Einwirkung, BE = Begleiteinwirkung</i>			
Bahnlast Erddruck	häufig	LE: Lastmodell 4 ST: Erddruck Bodeneigengewicht	$\psi_1 = 1.00$ $\psi_G = 1.00$
Verkehrslast Erddruck	häufig	LE: Lastmodell 1 ST: Erddruck Bodeneigengewicht	$\psi_1 = 0.75$ $\psi_G = 1.00$

Tabelle 8: Gefährdungsbilder Gebrauchstauglichkeit Endzustand

## 8 Bemessung Rohrprofil

### 8.1 Endzustand Tragsicherheit

Die geometrischen Kennwerte werden den Herstellerunterlagen entnommen:

Nennweite	DN	2200	mm	Programm	kreisru
Wandstärke Scheitel	S	200	mm		
Wandstärke Kämpfer	S	200	mm		
Sohlenstärke	T	200	mm		
Aussendurchmesser	OD	2600	mm		
Aussenhöhe	OD <sub>H</sub>	2600	mm		
Mittlerer Durchmesser	D <sub>m</sub>	2400	mm	"=C4+C5 ?"	
Mittlerer Rohrradius	R <sub>m</sub>	1200	mm	1200	Sohlbereich
Rohrquerschnittsfläche	A <sub>R</sub>	5.31	m <sup>2</sup>	0.12	Korrektur
Rohrgewicht	G	36.95	kN/m	2.74	Korrektur
Spezifisches Gewicht Beton	g <sub>B</sub>	24.5	kN/m <sup>3</sup>		14.21 kN/m <sup>2</sup>
<b>Einbaubedingen</b>					
Höhe Rohrscheitel bis Terrain	H	1.10	m		

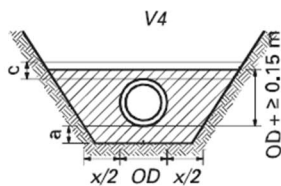
Abbildung 2: Geometrische Kennwerte Rohrprofil

Es wird mit dem ungünstigen Untergrund der Gehängeablagerungen gerechnet:

$$\varphi = 28^\circ \quad M_E = 8.0 \text{ kN/m}^2 \quad \text{schwach bindiger Boden}$$

#### 8.1.1 Erdlast über dem Scheitel ( $q_{s1}$ )

Verlegeprofil V4 gemäss SIA 190, 5.3.3 (biegesteife Rohre)



Baustoffe für die Leitungszone:  
– Unbewehrter Beton C16/20  
– Bewehrter Beton C20/25

Ausladungszahl  $C1 = C2 * C3 = 0.65 * 0.25 = 0.16 [-]$

Setzungsdurchbiegungsziffer  $C2 = 0.65 [-]$  SIA 190, Tabelle 6

Ausladungsziffer  $C3 = 0.25 [-]$  SIA 190, Tabelle 7

$\lambda_{\max} = 0.4025 * C_1^3 - 1.0202 * C_1^2 + 0.8401 * C_1 + 0.4809 * \sqrt{C_1} + 0.9994 = 1.302$

Lastvergrößerungsfaktor  $f = d_a / d = 2'600 \text{ mm} / 2'400 \text{ mm} = 1.083 [-]$  SIA 190, 4.2.7

### Flächenlast für Erdlasten

$q_{s1} = \lambda_{\max} * \gamma * H = 1.302 * 20 \text{ kN/m}^3 * 1.1 \text{ m} = 28.6 \text{ kN/m}^2$

### Linienlast für Erdlasten

$q_{s1} = q_{s1} * \gamma_G * f_d * d_a = 28.6 \text{ kN/m}^2 * 1.35 * 1.083 * 2.6 \text{ m} = 108.7 \text{ kN/m}$

#### 8.1.2 Nutzlast über dem Scheitel Bahn ( $q_{s2}$ )

##### Flächenlast

$q_{s2} = 48 \text{ kN/m}^2 * 0.5 * 1.00 * 1.34 = 32.2 \text{ kN/m}^2$  Ziffer 5.2.2

##### Linienlast

$q_{s1} = q_{s2} * \gamma_Q * f_d * d_a = 32.2 \text{ kN/m}^2 * 1.45 * 1.083 * 2.6 \text{ m} = 131.5 \text{ kN/m}$

#### 8.1.3 Nutzlast über dem Scheitel Strassenverkehr ( $q_{s2}$ )

##### Flächenlast

$q_{s2} = 79.7 * 0.9 = 71.7 \text{ kN/m}^2$  Ziffer 5.2.2

##### Linienlast

$q_{s2} = q_{s2} * \gamma_Q * f_d * d_a = 71.7 \text{ kN/m}^2 * 1.50 * 1.083 * 2.6 \text{ m} = 302.8 \text{ kN/m}$

#### 8.1.4 Bemessung

Einbauziffer  $ZE = 7.0$  SIA 190, Tabelle 10

$q_{ds}^* = 411.5 \leq q_R^* = 463.2 \text{ kN/m}$  **Nachweis erfüllt**

$q_{ds}^* = q_{s2} + q_{s1} = 302.8 + 108.7 \text{ kN/m} = 411.5 \text{ kN/m}$

$q_R^* = ZE * q_{Br} / 1.2 = 7.0 * 79.4 \text{ kN/m} / 1.2 = 463.2 \text{ kN/m}$  SIA 190, 4.2.10.1

mit  $q_{Br}$  gemäss Hersteller

### 8.2 Endzustand Gebrauchstauglichkeit

Nachweis  $\sigma_{Rbz} = N_k / A \pm M_k / W * \alpha_k \leq \sigma_{Rbz,adm}$

Massgebende Belastungen  $q_{s1} = 28.7 \text{ kN/m}^2$   $q_{s2} = 71.7 \text{ kN/m}^2$

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit erfolgt durch den Hersteller / Lieferant anhand der tatsächlichen Materialparameter.

## 9 Bemessung Baugrubensicherungen

### 9.1 Allgemeines

Der Bauablauf ist im Bericht Bauphasen (Beilage des PGV-Dossiers) beschrieben. Die Realisierung der Bauarbeiten soll möglichst unter Vollbetrieb der Bahn erfolgen.

Die Herstellung der Durchlässe wird jeweils in mehrere Phasen eingeteilt um die Verkehrsführung des Bahn-, Strassen- und Fussgängerverkehrs gemäss der übergeordneten Bauphasen gewährleisten zu können.

Die einzelnen Bauabschnitte werden mittels verankerten Rühlwandträgern mit Spritzbetonausfachung getrennt.

Die bestehenden Bäche werden provisorisch in Entwässerungsrohren DN 500 gefasst und durch die Baugrube geführt. Das Provisorium verlagert und erweitert sich mit den einzelnen Bauphasen.

#### 9.1.1 Geometrie

Die massgebende Höhe der Baugrubensicherung wird gemäss SIA 267 Ziffer 5.3.1.3 mit einem Aufschlag  $\Delta a$  von 50 cm bestimmt.

- $H_d = H_k + \Delta a$

#### 9.1.2 Nachweise

- Es werden folgende Nachweise geführt:
 

○ Bestimmung der Einbindetiefe Rühlwandträger	GZT Typ 2 / GZG selten
○ Innerer Tragwiderstand Rühlwandträger	GZT Typ 2
○ Gesamtstabilität nach Endaushub	GZT Typ 3
○ Tragwiderstand Longarine / Anker	GZT Typ 2 / GZG häufig

#### 9.1.3 Einwirkungen Terrain

Auf dem Terrain neben der Baugrubensicherung werden die Lasten gemäss Nutzung in der jeweiligen Bauphase (Bahn, Strassenverkehr, Personen) vorgesehen. Es werden an dieser Stelle keine Logistikeinwirkungen aus der Baustelle berücksichtigt.

- Ständige Einwirkungen
  - Erddruck aus Bodeneigengewicht (aktiver Erddruck)
- Veränderliche Einwirkungen
 

○ Erddruck aus Schmalspurbahn	SIA 261, Kapitel 12
○ Erddruck aus Strassenverkehr	SIA 261, Kapitel 10
○ Erddruck aus Personenverkehr	SIA 261, Kapitel 9

## 9.2 DL Tobelbach, Bauphase 1.1

OK Terrain [m ü.M.]	Sohle Baugrube [m ü.M.]	$\Delta H$ [m]	$\Delta a$ (SIA 267, 5.3.1.3) [m]	$H_d$ [m]
442.7	438.0	4.70	0.50	5.20

Tabelle 9: Geometrie Baugrube Tobelbach Phase 1.1

- Gewählt
  - 2 x HEB 300 im Abstand = 3.20 m
  - Ausfachung in Spritzbeton 250 mm
  - Verankerung mit Swiss GEWI Ø 32 mm in B500B

### 9.2.1 Veränderliche Einwirkungen

- Schmalspurbahn LM 4
- Berücksichtigung gemäss SIA 261, Ziffer 12.2.1.4 und Ziffer 5.2 des Berichtes
  - $q_k = 260 \text{ kN} / (3.20 \text{ m} * 2.00 \text{ m}) = 40.6 \text{ kN/m}^2$

### 9.2.2 Bauteilwiderstände

#### 9.2.2.1 Rühlwandträger

Für die Lastabtragung wird davon ausgegangen, dass die Ausfachung ausschliesslich horizontal wirkt und den resultierenden Druck auf die Rühlwandträger überträgt. Vertikal wird die gesamte Belastung von den eingebrachten Trägern abgetragen. Die Bemessung erfolgt direkt durch das EDV-Programm Larix-7 gemäss den Vorgaben der Norm SIA 263.

Für die Stabilitätsanalyse im GZT Typ 3 wird der Scherwiderstand  $W_k$  der Profile angesetzt.

$$W_k = (A_v * \tau_y) / a = (A_v * f_y / \sqrt{3}) / a$$

Profiltyp	Stahlgüte	$A_v$ [mm <sup>2</sup> ]	a [m]	$W_k$ [kN/m]
HEB 300	S 355	4'740	3.20	304

Tabelle 10 – Kennwerte der Rühlwandträger

#### 9.2.2.2 Ausfachung

Die Bemessung erfolgt direkt durch das EDV-Programm Larix-7 gemäss den Vorgaben der Norm SIA 262. Es ist keine Querkraftbewehrung vorgesehen.

Für die Stabilitätsanalyse wird der Scherwiderstand  $W_k$  der Spritzbetonausfachung angesetzt.

Dicke [mm]	Sorte	Beton	$W_k$ [kN/m]	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\tau_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
250	SC2	C25/30	101	16.5	1.0

Tabelle 11 - Scherwiderstand Ausfachung

In der Stabilitätsanalyse wird die jeweilige Summe aus Träger und Ausfachung als Gesamtscherwiderstand angesetzt.

$$W_{k,ges} = 0.3 / 3.2 * 304 + 2.9 / 3.2 * 101 = 120 \text{ kN/m}$$

### 9.2.3 Modellierung

- Erfolgt mittels der Software Larix-7 der Cubus AG

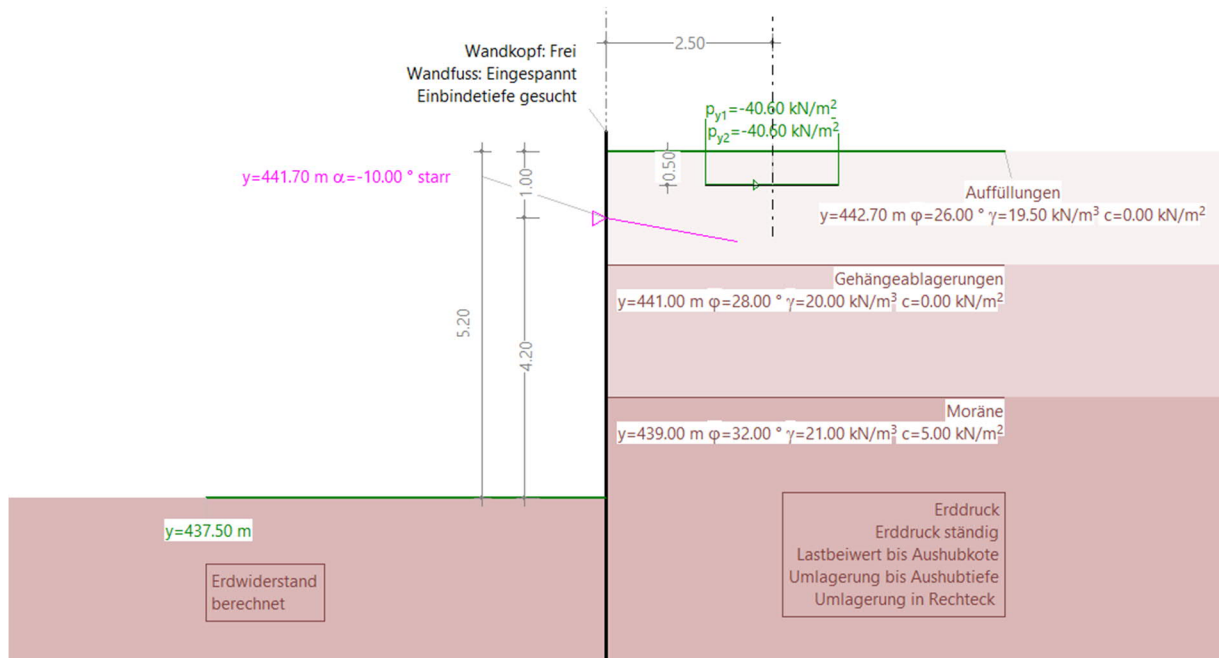


Abbildung 3: Tobelbach, Baugrubensicherung Phase 1.1, Modell Endzustand

#### 9.2.4 Lastkombinationen GZ Tragfähigkeit Typ 2

Einwirkung		Einwirkungskombinationen							
Nr	Name	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Eigenlast	1.35	1.35	1.35	1.35	0.8	0.8	0.8	0.8
2	Erddruck ständig	1.35	1.35	0.7	0.7	1.35	1.35	0.7	0.7
3	Erddruck veränderlich	1.35		1.35		1.35		1.35	

### 9.2.5 Lastkombinationen GZ Gebrauchstauglichkeit selten

Einwirkung		Einwirkungskombinationen	
Nr	Name	1	
1	Eigenlast	1	
2	Erddruck ständig	1	
3	Erddruck veränderlich	1	

### 9.2.6 Nachweise Rühlwand

#### 9.2.6.1 Rühlwandträger

<b>a<sub>RW</sub> [m]</b>	<b>t<sub>erf</sub> [m]</b>	<b>t<sub>wahl</sub> [m]</b>	<b>Larix-7</b>	<b>Wahl</b>	<b>n [-]</b>
3.20	4.01	4.50 (UK 433.00 m .M.)	HEB 220	HEB 300	3.70*

\*n = 1.0 / 0.27, nur Tragsicherheit

Nachweis		Bemessung	
aMNV [-]	Et,GWS,EWK	Profil	Et,GWS,EWK
0,27	2 2 1	HEB220	2 2 1

#### 9.2.6.2 Ausfachung

Die erforderlichen Bewehrungsgehalte werden von der Software Larix-7 angegeben.

$$a_{s, \text{erf}} = 420 \text{ mm}^2/\text{m}$$



### 9.2.6.3 Gebrauchstauglichkeit

Die Verformungen im GZG-selten ergeben sich zu

- Voraushub  $u = 7.7 \text{ mm}$  für frei auskragende Rühlwand
  - $l / 300 = 1'500 / 300 = 5.0 \text{ mm}$   $< 7.7 \text{ mm} (l / 195)$
- Endaushub  $u = 17.5 \text{ mm}$  für den Fall verankerte Rühlwand
  - $l / 300 = 5'200 / 300 = 17.3 \text{ mm}$   $\sim 17.5 \text{ mm} (l / 297)$

### 9.2.6.4 Stabilitätsanalyse GZ Typ 3

$n = 2.32 [-]$

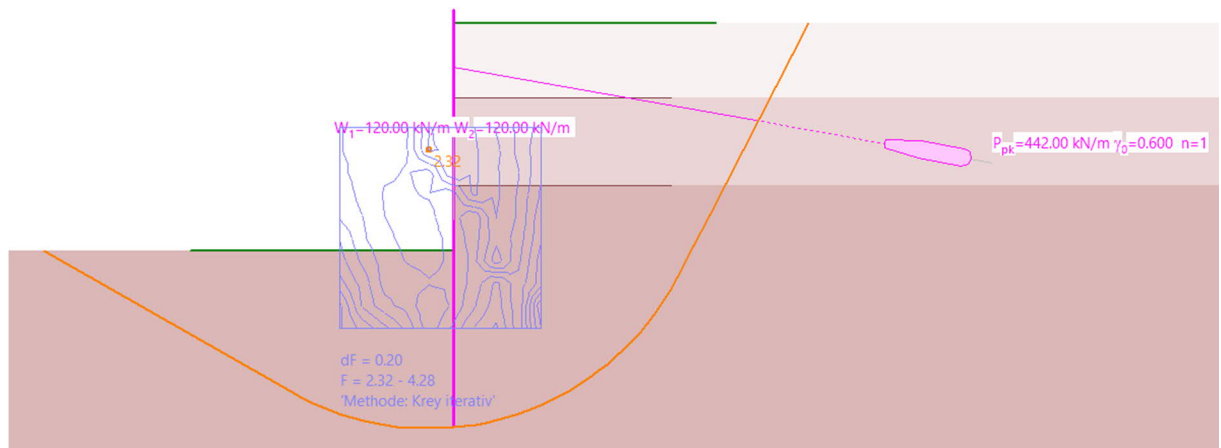


Abbildung 4: Tobelbach 1.1, Stabilitätsanalyse

### 9.2.7 Nachweise Longarine

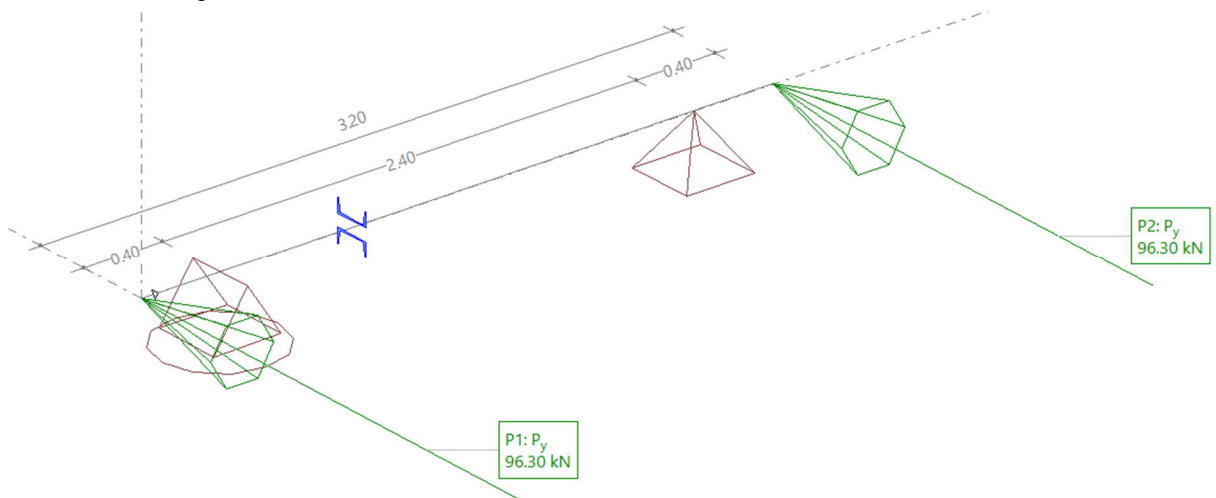


Abbildung 5: Geometrie und Einwirkungen Longarine

Gewählt	Longarine 2 x UNP 180		
Abstützkraft	$p_{xd}$	$= 81.3 \text{ kN/m}$	(aus Larix-7)
	$p_{xk} = p_{xd} / 1.35$	$= 60.2 \text{ kN/m}$	
	$P_{xk} = 60.2 * 3.20 \text{ m} * 0.5$	$= 96.3 \text{ kN/Träger}$	

### 9.2.7.1 Gefährdungsbilder

Nr	Einwirkung Name	Fak	Einwirkungskombinationen		
			1	2	
1	Eigenlast	1	1.35	0.8	
2	Erddruck veränderlich	1	1.35	1.35	

#### Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen

"zu Grenzwertspezifikation !GZT"

Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		EG Eigengewicht	1.000	
Erddruck veränderlich		wo massgebend		Py Ankerkraft	1.000	

Abbildung 6: GB Tragsicherheit

Nr	Einwirkung Name	Fak	Einwirkungskombinationen		
			1	2	
1	Eigenlast	1	1		
2	Erddruck veränderlich	1	1		

#### Belastungsüberlagerungen der Einwirkungen

"zu Grenzwertspezifikation GZ-häufig"

Einwirkung	Alt	additiv	exklusiv	Belastung	Faktor	Komb.
Eigenlast		ständig		EG Eigengewicht	1.000	
Erddruck veränderlich		wo massgebend		Py Ankerkraft	1.000	

Abbildung 7: GB Gebrauchstauglichkeit

### 9.2.7.2 Spannungsnachweise

- Stahl S235
  - $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{M1} = 235 / 1.05 = 223.8 \text{ N/mm}^2$
- Die Bemessungswerte werden der Software Statik-7 entnommen:
  - Longarine  $\max M_d = 52.0 \text{ kNm}$   $\sigma_{Ed} = 176.1 < 223.8 \text{ N/mm}^2$   $n = 1.27$

### 9.2.7.3 Gebrauchstauglichkeit

- Die Verformungen im GZG – häufig Lastfall ergeben sich zu maximal:
  - Longarine  $w_y = 4.8 \text{ mm} < l / 300 = 3'200 / 300 = 10.7 \text{ mm}$

### 9.2.8 Vorgespannter Anker

- Gewählt Swiss GEWI Ø32 mm in B500B
  - $L_{fr} = 7.0 \text{ m}$   $L_v = 4.0 \text{ m}$

#### 9.2.8.1 Einwirkungen

- Auflagerkraft aus der Longarine (Erddruck)
  - $F_k = 96.3 \text{ kN} / \text{Anker}$   $F_d = \gamma * F_k = 1.35 * 96.3 = 130.0 \text{ kN}$

#### 9.2.8.2 Innere Tragsicherheit

- Gewählt Swiss GEWI Ø 32 mm in B500B
  - $A = 804 \text{ mm}^2$   $f_{pk} = 550 \text{ N/mm}^2$
  - $R_{i,k} = P_{pk} = A_p * f_{pk} = 804 \text{ mm}^2 * 550 \text{ N/mm}^2 = 442 \text{ kN}$
  - $R_{i,d} = R_{i,k} / \gamma_M = 442 \text{ kN} / 1.35 = 327 \text{ kN} \gg F_d = 130 \text{ kN}$  Nachweis erfüllt,  $n = 2.52$

#### 9.2.8.3 Äussere Tragsicherheit

- Es liegen keine Informationen zu Mantelreibungen vor, die äusseren Tragwiderstände  $R_{a,k}$  sind daher in der nächsten Projektphase resp. durch Versuche zu ermitteln und müssen grösser als die inneren Tragwiderstände  $R_{i,k}$  sein
- Die Verankerungslängen / freien Längen gemäss SIA 267 und den Vorgaben des Systemlieferanten sind einzuhalten

### 9.3 DL Tobelbach, Bauphase 1.2

OK Terrain [m ü.M.]	Sohle Baugrube [m ü.M.]	$\Delta H$ [m]	$\Delta a$ (SIA 267, 5.3.1.3) [m]	$H_d$ [m]
442.6	438.2	4.40	0.50	4.90

Tabelle 12: Geometrie Baugrube Tobelbach Phase 1.2

- Gewählt
  - 2 x HEB 320 im Abstand = 3.20 m
  - Ausfachung in Spritzbeton 250 mm
  - Verankerung mit Swiss GEWI Ø 32 mm in B500B

#### 9.3.1 Veränderliche Einwirkungen

- Lastmodell 1 Strassenverkehr Berücksichtigung gemäss SIA 261, Ziffer 10.2.2.8
  - $a = 0.50$  m Abstand zur Abschränkung
  - $h = 4.90$  m Höhe bis UK Baugrubensicherung
  - $q_{Ek} = 16.0$  kN/m<sup>2</sup> Flächenlast bis zum Baugrubenrand

#### 9.3.2 Bauteilwiderstände

##### 9.3.2.1 Rühlwandträger

Für die Lastabtragung wird davon ausgegangen, dass die Ausfachung ausschliesslich horizontal wirkt und den resultierenden Druck auf die Rühlwandträger überträgt. Vertikal wird die gesamte Belastung von den eingebrachten Trägern abgetragen. Die Bemessung erfolgt direkt durch das EDV-Programm Larix-7 gemäss den Vorgaben der Norm SIA 263.

Für die Stabilitätsanalyse im GZ Typ 3 wird der Scherwiderstand  $W_k$  der Profile angesetzt.

$$W_k = (A_v \cdot \tau_y) / a = (A_v \cdot f_y / \sqrt{3}) / a$$

Profiltyp	Stahlgüte	$A_v$ [mm <sup>2</sup> ]	$a$ [m]	$W_k$ [kN/m]
HEB 300	S 355	4'740	3.20	304

Tabelle 13 – Kennwerte der Rühlwandträger

##### 9.3.2.2 Ausfachung

Die Bemessung erfolgt direkt durch das EDV-Programm Larix-7 gemäss den Vorgaben der Norm SIA 262. Es ist keine Querkraftbewehrung vorgesehen.

Für die Stabilitätsanalyse wird der Scherwiderstand  $W_k$  der Spritzbetonausfachung angesetzt.

Dicke [mm]	Sorte	Beton	$W_k$ [kN/m]	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\tau_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
250	SC2	C25/30	101	16.5	1.0

Tabelle 14 - Scherwiderstand Ausfachung

In der Stabilitätsanalyse wird die jeweilige Summe aus Träger und Ausfachung als Gesamtscherwiderstand angesetzt.

$$W_{k,ges} = 0.3 / 3.2 \cdot 329 + 2.9 / 3.2 \cdot 101 = 120 \text{ kN/m}$$

### 9.3.3 Modellierung

- Erfolgt mittels der Software Larix-7 der Cubus AG

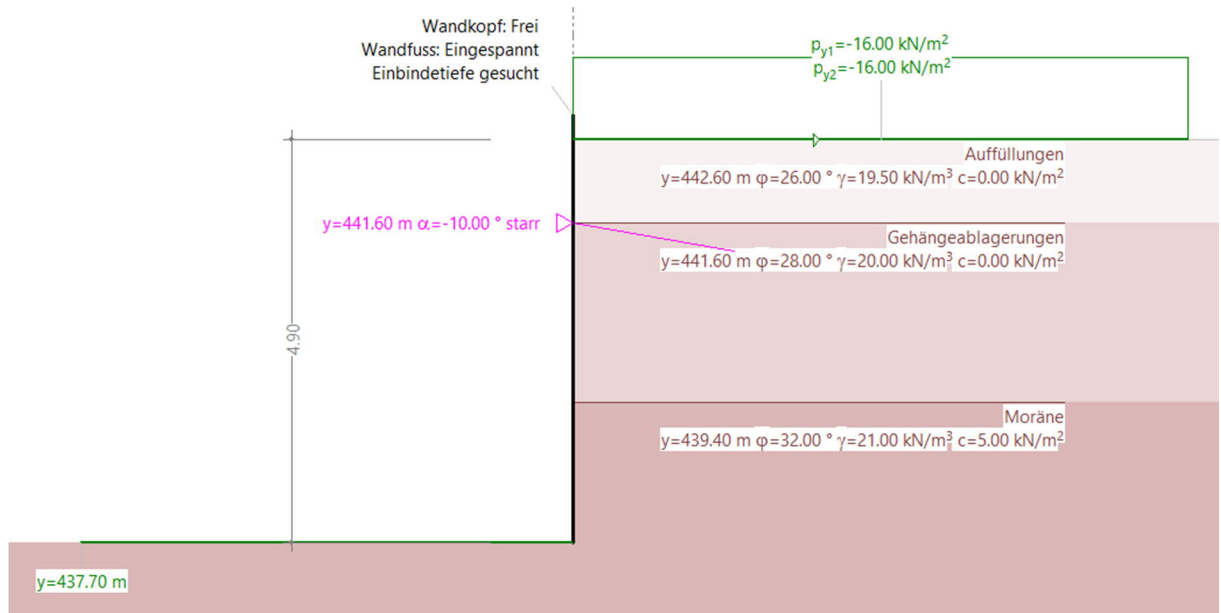


Abbildung 8: Baugrubensicherung Phase 1.2, Modell

### 9.3.4 Lastkombinationen GZ Tragfähigkeit Typ 2

Nr	Einwirkung Name	Einwirkungskombinationen							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Eigenlast	1.35	1.35	1.35	1.35	0.8	0.8	0.8	0.8
2	Erddruck ständig	1.35	1.35	0.7	0.7	1.35	1.35	0.7	0.7
3	Erddruck veränderlich	1.35		1.35		1.35		1.35	

### 9.3.5 Lastkombinationen GZ Gebrauchstauglichkeit selten

Nr	Einwirkung Name	Einwirkungskombinationen							
		1							
1	Eigenlast	1							
2	Erddruck ständig	1							
3	Erddruck veränderlich	1							

### 9.3.6 Nachweise Rühlwand

#### 9.3.6.1 Rühlwandträger

$a_{RW}$ [m]	$t_{erf}$ [m]	$t_{wahl}$ [m]		Larix-7	Wahl	n [-]
3.20	3.61	4.50	(UK 433.20 m .M.)	HEB 180	HEB 320	5.00*

\*n = 1.0 / 0.20, nur Tragsicherheit

Nachweis		Bemessung		
$a_{MNV}$ [-]	$E_t, GWS, EWK$	Profil	$E_t, GWS, EWK$	
0.20	2, 2, 1	HEB180	2, 2, 1	

#### 9.3.6.2 Ausfuchung

Die erforderlichen Bewehrungsgehalte werden von der Software Larix-7 angegeben.

$$a_{s, erf} = 330 \text{ mm}^2/\text{m}$$

### 9.3.6.3 Gebrauchstauglichkeit

Die Verformungen im GZG-selten ergeben sich zu

- Voraushub  $u = 10.1 \text{ mm}$  für frei auskragende Rühlwand
  - $l / 300 = 1'500 / 300 = 5.0 \text{ mm}$   $< 10.1 \text{ mm} (l / 149)$
- Endaushub  $u = 10.3 \text{ mm}$  für den Fall verankerte Rühlwand
  - $l / 300 = 5'200 / 300 = 17.3 \text{ mm}$   $> 10.3 \text{ mm} (l / 297)$

### 9.3.6.4 Stabilitätsanalyse GZ Typ 3

$n = 2.16 [-]$

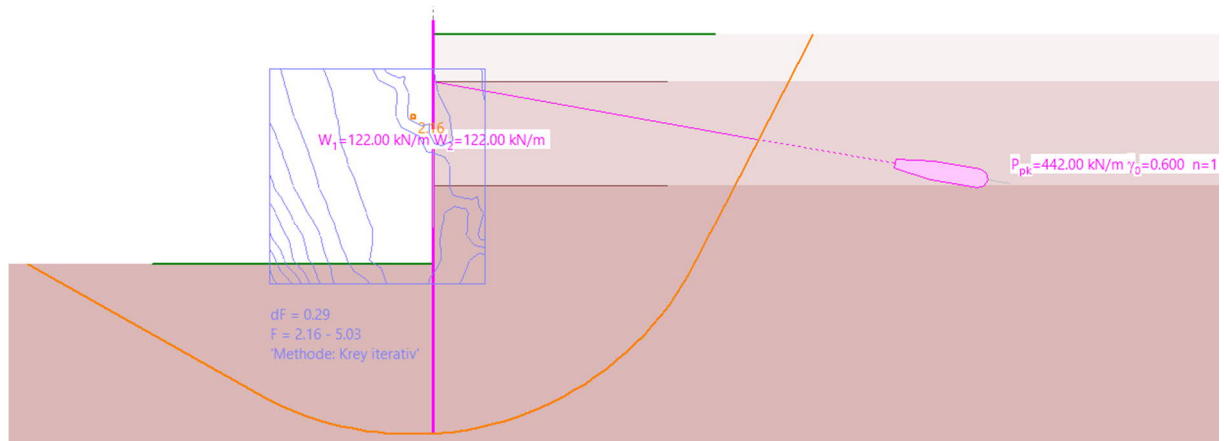


Abbildung 9: Tobelbach 1.2, Stabilitätsanalyse

### 9.3.7 Nachweise Longarine

Gewählt	Longarine 2 x UNP 180		
Abstützkraft	$p_{xd}$	$= 69.1 \text{ kN/m}$	(aus Larix-7)
	$p_{xk} = p_{xd} / 1.35$	$= 51.2 \text{ kN/m}$	
	$P_{xk} = 51.2 * 3.20 \text{ m} * 0.5$	$= 81.9 \text{ kN/Träger}$	

#### 9.3.7.1 Gefährdungsbilder

- Siehe 9.2.7.1.

#### 9.3.7.2 Spannungsnachweise

- Einwirkungen geringer als in Phase 1.1, Nachweise erfüllt

#### 9.3.7.3 Gebrauchstauglichkeit

- Einwirkungen geringer als in Phase 1.1, Nachweise erfüllt

### 9.3.8 Vorgespannter Anker

- Gewählt Swiss GEWI Ø32 mm in B500B
  - $L_{fr} = 7.0 \text{ m}$   $L_v = 4.0 \text{ m}$

#### 9.3.8.1 Einwirkungen

- Auflagerkraft aus der Longarine (Erddruck)
  - $F_k = 81.9 \text{ kN / Anker}$   $F_d = \gamma * F_k = 1.35 * 81.9 = 110.6 \text{ kN}$

#### 9.3.8.2 Innere Tragsicherheit

- Gewählt Swiss GEWI Ø 32 mm in B500B
  - $A = 804 \text{ mm}^2$   $f_{pk} = 550 \text{ N/mm}^2$
  - $R_{i,k} = P_{pk} = A_p * f_{pk} = 804 \text{ mm}^2 * 550 \text{ N/mm}^2 = 442 \text{ kN}$
  - $R_{i,d} = R_{i,k} / \gamma_M = 442 \text{ kN} / 1.35 = 327 \text{ kN} \gg F_d = 110.6 \text{ kN}$  Nachweis erfüllt,  $n = 2.96$

#### 9.3.8.3 Äussere Tragsicherheit

- Es liegen keine Informationen zu Mantelreibungen vor, die äusseren Tragwiderstände  $R_{a,k}$  sind daher in der nächsten Projektphase resp. durch Versuche zu ermitteln und müssen grösser als die inneren Tragwiderstände  $R_{i,k}$  sein
- Die Verankerungslängen / freien Längen gemäss SIA 267 und den Vorgaben des Systemlieferanten sind einzuhalten

## 10 Anhänge

Anhang 1 Bemessung Lieferant von 20.12.2018



Statischer Nachweis Profil 4		DN	2200 mm	Überdeckung	1.1 m	ohne LKW
Vordimensionierung				Tragsicherheitsnachweis	9.8	kN/m
Technische Kennwerte Betonrohr		Stahlbetonrohr		Gebrauchstauglichkeit	-2.87	N/mm <sup>2</sup>
Nennweite	DN	2200	mm	Programm kreisrund		
Wandstärke Scheitel	S	200	mm			
Wandstärke Kämpfer	S	200	mm			
Sohlenstärke	T	200	mm			
Aussendurchmesser	OD	2600	mm			
Aussenhöhe	OD <sub>H</sub>	2600	mm			
Mittlerer Durchmesser	D <sub>m</sub>	2400	mm	"=C4+C5 ?"		
Mittlerer Rohrradius	R <sub>m</sub>	1200	mm	1200	Sohlbereich	
Rohrquerschnittsfläche	A <sub>R</sub>	5.31	m <sup>2</sup>	0.12	Korrektur	
Rohrgewicht	G	36.95	kN/m	2.74	Korrektur 14.21 kN/m <sup>2</sup>	
Spezifisches Gewicht Beton	g <sub>B</sub>	24.5	kN/m <sup>3</sup>			
<b>Einbaubedingen</b>						
Höhe Rohrscheitel bis Terrain	H	1.10	m			
Höhe Grundwasserspiegel bis Terrain	h		m			
Höhe Rohrscheitel bis Grundwasserspiegel	h'		m			
Wasserdruckhöhe ab Rohrsohle aussen	h <sub>wa</sub>		m			
Wasserdruckhöhe ab Rohrscheitel aussen	h <sub>pa</sub>		m			
Wasserdruckhöhe ab Rohrsohle innen	h <sub>wi</sub>		m			
Wasserdruckhöhe ab Rohrscheitel innen	h <sub>pi</sub>		m			
Grabenart	<input checked="" type="radio"/> U-Graben <input type="radio"/> V-Graben 3:1 <input type="radio"/> V-Graben 2:1 <input type="radio"/> V-Graben 1:1 <input type="radio"/> U/V-Graben					
Anzahl Leitungen im gleichen Graben	<input checked="" type="radio"/> Eine Leitung im gleichen Graben <input type="radio"/> Zwei Leitungen im gleichen Graben <input type="radio"/> Mehrere Leitungen im gleichen Graben					
Grabensicherung	<input checked="" type="radio"/> Horizontale Spriessung <input type="radio"/> Vertikale Spriessung <input type="radio"/> Verbauplatten <input type="radio"/> Eingebundene Spriessung (Spundwand)					
Auffüllung der Leitungszone	<input type="radio"/> Ohne Nachweis der Proktordichte, vertikale Spriessung sukzessiv nachgezogen <input checked="" type="radio"/> Mit Nachweis der Proktordichte von > 90 %, vertikale Spriessung sukzessiv nachgezogen <input type="radio"/> Mit oder ohne Nachweis der Proktordichte, vertikale Spriessung erst nach der Grabenfüllung nachgezogen					
<b>Mechanische Bodenkennwerte</b>		DN	2200 mm	Überdeckung	1.1 m	ohne LKW
Bodenart	<input type="radio"/> Nicht bindiger Boden <input checked="" type="radio"/> Schwach bindiger Boden <input type="radio"/> Bindiger Boden					44
Raumgewicht erdfeucht	γ <sub>E</sub>	20.0	kN/m <sup>3</sup>			
Raumgewicht unter Auftrieb	γ' <sub>E</sub>		kN/m <sup>3</sup>			
Innerer Reibungswinkel	φ	25	°			
Verdichtungsgrad	D <sub>Pr</sub>	95	%			
Verformungsmodul	E <sub>B</sub>	8.00	N/mm <sup>2</sup>	Wert muss auf der Baustelle überprüft werden		
<b>Erdlasten bei Dammbedingung</b>						
Rohr auf unnachgiebigen Boden	<input type="radio"/> Fels <input type="radio"/> Bewehrte Bodenplatte					
Rohr auf gewöhnlichem Boden	<input type="radio"/> Hart gelagerte Böden <input type="radio"/> Nicht bindige Böden <input checked="" type="radio"/> Schwach bindige Böden					
Rohr auf nachgiebigen Boden	<input type="radio"/> Bindige Mischböden und Silt <input type="radio"/> Bindige Böden, ausgenommen Silt					
Ausladungsziffer	C <sub>3</sub>	0.25		Ausladungsziffer		(gewählt)
Setzungsdurchbiegungsziffer	C <sub>2</sub>	0.65				(gewählt)
Ausladungszahl	C <sub>1</sub>	0.16				
Laststeigerung über dem Rohr	λ <sub>max</sub>	1.305				
<b>Erdlast über Rohrscheitel</b>	q <sub>s1</sub>	28.7	kN/m <sup>2</sup>			
<b>Auflasten</b>						
Veränderliche Auflasten	<input type="radio"/> Strassenverkehrslasten <input checked="" type="radio"/> Bahnverkehrslasten <input type="radio"/> Oberflächenlasten <input type="radio"/> Andere Lasten					

Kein Strassenverkehr		x		x = kein Strassenverkehr	
Strassenverkehrslast					
Strassenart	<input checked="" type="radio"/> Strassenverkehr mit Schwerverkehr, Breite > 6 m <input type="radio"/> Strassenverkehr ohne Schwerverkehr, Breite < 6 m				
Gesamte Strassenverkehrslast	$q'_{S2,G}$	91.2 kN/m <sup>2</sup>	Last	91.2	kN/m <sup>2</sup>
Einzelne Radlast	$q'_{S2,R}$	38.9 kN/m <sup>2</sup>	Last	38.9	kN/m <sup>2</sup>
Strassenverkehrslast ohne Radlast	$q'_{S2,F}$	kN/m <sup>2</sup>			
Beiwert	$\alpha$	0.00	Beiwert	0.65	(gewählt)
Stosszuschlag	$\psi$	0.00	Stosszuschlag	1.00	(gewählt)
Gesamte Strassenverkehrslast	$q_{S2}$	0.0 kN/m <sup>2</sup>			
Einzelne Radlast	$q_{S2,R}$	0.0 kN/m <sup>2</sup>			
Strassenverkehrslast ohne Radlast	$q_{S2,F}$	kN/m <sup>2</sup>			
Bahnverkehrslast					
		DN	2200 mm	Überdeckung	1.1 m ohne LKW
Bahnlasten nach Norm SIA 190	<input type="radio"/> Bahnverkehr nach Norm SIA 190 eingeleisig <input type="radio"/> Bahnverkehr nach Norm SIA 190 mehrgeleisig <input type="radio"/> Bahnverkehr eingeleisig <input checked="" type="radio"/> Bahnverkehr zweigeleisig a = 4 m <input type="radio"/> Bahnverkehr zweigeleisig a = 3 m <input type="radio"/> Bahnverkehr dreigeleisig a = 3 m				
Alternative Bahnlastannahmen					
Bahnverkehrsart	<input checked="" type="radio"/> Normalspur <input type="radio"/> Schmalspur				
Gesamte Bahnverkehrslasten	$q'_{S2}$	47.2632 kN/m <sup>2</sup>			
Beiwert	$\alpha$	1.330			
Dynamischer Beiwert	$\psi$	1.340			
Gesamte Bahnverkehrslasten	$q_{S2}$	84.232 kN/m <sup>2</sup>			
Oberflächenlasten					
Länge der Oberflächenlast	$l_o$	0.40 m			
Breite der Oberflächenlast	$b_o$	0.40 m			
Oberflächenlast	$q_o$	0.0 kN/m <sup>2</sup>			kN
Beiwert	$A_1$				
Gesamte Oberflächenlast	$q_{S3}$	kN/m <sup>2</sup>			
Andere Lasten					
Andere Lasten auf Rohrscheitelhöhe	$q'_{S4}$	kN/m <sup>2</sup>			
Beiwert	$\alpha$				
Andere Lasten auf Rohrscheitelhöhe	$q_{S4}$	kN/m <sup>2</sup>			
Tragsicherheitsnachweis					
		DN	2200 mm	Überdeckung	1.1 m ohne LKW
Lastvergrößerungsfaktor	$f_d$	1.083		"=C8/+C10 ? "	112
Lastbeiwert für Erdlasten	$\gamma_{G,sup}$	1.350			
Lastbeiwert für Strassenverkehrslasten	$\gamma_Q$	1.500			
Lastbeiwert für Bahnverkehrslasten	$\gamma_Q$	1.450			
Lastbeiwert für Oberflächenlasten	$\gamma_{G,sup}$				
Lastbeiwert für andere Lasten	$\gamma_Q$				
Linienlast für Erdlasten	$q_{SE}$	109.1 kN/m			
Lastbeiwert für Strassenverkehrslasten	$q_{SV,S}$	0.0 kN/m		0 x 1.083 x 1.5 x 2600 / 1000	
Lastbeiwert für Bahnverkehrslasten	$q_{SV,B}$	344.0 kN/m			
Lastbeiwert für Oberflächenlasten	$q_{SO}$	kN/m			
Lastbeiwert für andere Lasten	$q_{SA}$	kN/m			
Bemessungswert der Beanspruchung	$q^*_{ds}$	453.2 kN/m	Einbauprofil	4	x reduz.
Einbauziffer	ZE	7.000	Einbauziffer	7.000	(neu)
Widerstandsbeiwert	$\gamma_R$	1.200	Einbauziffer	7.00	gewählt (z.B. 1.75 MA)
Scheiteldruck-Bruchlast	$q_{Br}$	79.4 kN/m	$q_{Br}$	79.4	kN/m (gewählt)
Reduzierter Tragwiderstand	$q^*_R$	463.0 kN/m			
Nachweis $q^*_{ds} \leq q^*_R$	Erfüllt		Reserve	9.8 kN/m	
Gebrauchstauglichkeitsnachweis					
		DN	2200 mm	Überdeckung	1.1 m ohne LKW
Erdlast über Rohrscheitel	$q_{S1}$	28.7 kN/m <sup>2</sup>			131
Gesamte Strassenverkehrslast	$q_{S2}$	0.0 kN/m <sup>2</sup>			
Einzelne Radlast	$q_{S2,R}$	0.0 kN/m <sup>2</sup>		0.00	(gewählt)
Strassenverkehrslast ohne Radlast	$q_{S2,F}$	0.0 kN/m <sup>2</sup>		"=C132-C133"	
Gesamte Bahnverkehrslasten	$q_{S2}$	84.2 kN/m <sup>2</sup>			
Oberflächenlast	$q_{S3}$	0.0 kN/m <sup>2</sup>			
Andere Lasten auf Rohrscheitelhöhe	$q_{S4}$	0.0 kN/m <sup>2</sup>			
Gesamte vertikale Lasten	$q_{serV}$	112.9 kN/m <sup>2</sup>		s.K156	
Erddruckbeiwert	K	0.50	Erddruckbeiwert	0.80	0.50 (gewählt)
Korrekturfaktor infolge geringer Überdeckung	$f_o$	0.000	0.000 Profil 1	$f_a$	0.000 (Profil 4 inkl. seitl. Bet)

Gesamte horizontale Lasten	$q_{serH}$	56.5 kN/m <sup>2</sup>	56.5 Profil 1	56.5 kN/m <sup>2</sup>				
Innerer Wasserdruck	$p_i$	0.0 kN/m <sup>2</sup>						
Äusserer Wasserdruck	$p_a$	0.0 kN/m <sup>2</sup>						
<b>Schnittkräfte</b>								
		<b>Scheitel</b>	<b>Kämpfer</b>	<b>Sohle</b>				
Wandstärke	$S / T$	0.2	0.2	0.2 m				
Fläche	$A$	0.2	0.2	0.2 m <sup>2</sup> /m				
Widerstandsmoment	$W$	0.00667	0.00667	0.00667 m <sup>3</sup> /m				
Korrekturfaktor innen	$a_{ki}$	1.056	1.056	1.056				
Korrekturfaktor aussen	$a_{ka}$	0.944	0.944	0.944				
<b>Biegemomente</b>								
		<b>Scheitel</b>	<b>Kämpfer</b>	<b>Sohle</b>				
<b>Lastfall</b>		$m$	$M$	$m$	$M$			
Infolge Eigengewicht 10	$M_G$	0.5000	3.53	-0.5708	-4.03	1.5000	10.58	kNm/m
Infolge gesamter vertikalen Lasten 15-16	$M_{qV}$	0.2800	49.33	-0.2600	-45.81	0.4700	82.80	kNm/m
Sohlpressung 18-20	$p_u \cdot r^2$	-0.0494	-9.80	0.0567	11.25	-0.3372	-66.88	kNm/m
Infolge gesamten horizontalen Lasten 4	$M_{qH}$	-0.2500	-22.02	0.2500	22.02	-0.2500	-22.02	kNm/m
horizontale Gleichlast 22-25		-0.0060	0.42	0.0020	-0.14	-0.0020	0.14	kNm/m
Infolge innere Wasserfüllung	$M_{wi}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm/m
Infolge innerer Wasserdruck	$M_{pi}$	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	kNm/m
Infolge äusserer Wasserdruck bis Rohrscheitel	$M_{wa}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm/m
Infolge äusserer Wasserdruck	$M_{pa}$	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	kNm/m
<b>Momente</b>	<b><math>\Sigma M</math></b>	21.46		-16.71		4.62		<b>kNm/m</b>
<b>Normalkräfte</b>								
		<b>Scheitel</b>	<b>Kämpfer</b>	<b>Sohle</b>				
<b>Lastfall</b>		$n$	$N$	$n$	$N$	$n$	$N$	
Infolge Eigengewicht 10	$N_G$	-0.5000	-2.94	1.5708	9.24	0.5000	2.94	kN/m
Infolge gesamter vertikalen Lasten 15-16	$N_{qV}$	-0.0600	-8.81	0.8500	124.79	0.0600	8.81	kN/m
Sohlpressung 18-20		0.1061	17.54	0.0000	0.00	-0.1061	-17.54	kN/m
Infolge gesamten horizontalen Lasten 4	$N_{qH}$	1.0000	117.45	0.0000	0.00	1.0000	117.45	kN/m
horizontale Gleichlast 22-25		0.4000	-17.62	0.0000	0.00	0.0300	-1.32	kN/m
Infolge innere Wasserfüllung	$N_{wi}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN/m
Infolge innerer Wasserdruck	$N_{pi}$	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	kN/m
Infolge äusserer Wasserdruck bis Rohrscheitel	$N_{wa}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN/m
Infolge äusserer Wasserdruck	$N_{pa}$	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	kN/m
<b>Normalkräfte</b>	<b><math>\Sigma N</math></b>	1	105.62	1	134.03	1	110.34	<b>kN/m</b>
<b>DN 2200 mm Überdeckung 1.1 m ohne LKW</b>								
<b>Ringbiegezugspannungen Profil 4 (1)</b>								
		<b>Scheitel</b>	<b>Kämpfer</b>	<b>Sohle</b>	176			
Ringbiegezugspannungen aussen	$\sigma_{Rbz,a}$	3.57	-1.70	1.21	N/mm <sup>2</sup>			
Ringbiegezugspannungen zugelassen	$\sigma_{Rbz,adm}$	-4.00	-4.00	-4.00	N/mm <sup>2</sup>			
Nachweis aussen $\sigma_{Rbz,a} \leq \sigma_{Rbz,adm}$		Erfüllt	Erfüllt	Erfüllt				
Ringbiegezugspannungen innen	$\sigma_{Rbz,i}$	-2.87	3.32	-0.18	N/mm <sup>2</sup>			
Ringbiegezugspannungen zugelassen	$\sigma_{Rbz,adm}$	-4.00	-4.00	-4.00	N/mm <sup>2</sup>			
Nachweis innen $\sigma_{Rbz,i} \leq \sigma_{Rbz,adm}$		Erfüllt	Erfüllt	Erfüllt				
<b>Auftriebssicherheit</b>								
Wasserdruck	$q_A$	kN/m <sup>2</sup>						
Bemessungswert für Wasserdruck	$q_{da}$	kN/m <sup>2</sup>						
Rohrlast	$q_G$	kN/m <sup>2</sup>						
Erdlast	$q_E$	kN/m <sup>2</sup>						
Widerstand gegen Auftrieb	$q_{Ra}$	kN/m <sup>2</sup>						
Nachweis $q_{da} \leq q_{Ra}$								
<b>Schnittkräfte</b>								
Es gelten folgende Regeln:								
Positives Biegemoment (+) M ergibt Zug auf der Rohrinneenseite								
Negatives Biegemoment (-) M ergibt Zug auf der Rohraussenseite								
Positive Normalkraft (+) N ergibt Druck								
Negative Normalkraft (-) N ergibt Zug								
Positive Ringbiegezugspannung (+) $\sigma$ ergibt Druck								
Negative Ringbiegezugspannung (-) $\sigma$ ergibt Zug								