

Beilage Nr. 14.11.01

Kanton Bern

Gemeinde Grosshöchstetten

BLS-Strecke 15 BTB (Hasle) - (Konolfingen) - (Thun)

Grosshöchstetten

Erneuerung Grosshöchstettentunnel

km 13.475 - 14.533

IC/003635

Auflageprojekt 2026

Statischer Bericht FL-Fundamente

BLS Netz AG Projekte & Technologie Freiburgstrasse 130, CH-3001 Bern	Verfasst: Name: Salvian Stocker	Geprüft: Name: Rolf Reichmuth
Sven Stähli Leiter Fahrweg Erika Licini Projektleiterin Fahrweg	Rev. Bemerkungen	Datum:
	Erstausgabe	01.07.2026
	A	
	B	
	C	
	D	
VERFASSTER: Gähler und Partner AG Sonnenbergstrasse 1 5408 Ennetbaden Projektallianz Grosshöchstettentunnel 	E	
	F	

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage	2
2	Baustoffe und Materialkennwerte	2
2.1	Beton	2
2.2	Betonstahl	2
3	Geologie	3
4	Geometrie	3
5	Einwirkungen	4
6	Nachweis	5
6.1	Nachweis quer zum Gleis	5
6.2	Nachweis längs zum Gleis	9
6.3	Nachweis Bewehrung	13
7	Projektorganisation	14
8	Grundlagen	15

1 Ausgangslage

Bei der BLS Netz AG wird in der Regel das Fahrleitungsfundament Typ FS1 verwendet. Im Gegensatz zu anderen Bahnstandards werden die Mastfundamente nicht in Abhängigkeit von Mastdimensionen unterschieden. Desweiteren gibt es keine Unterscheidung nach Fundamentschrauben, M30 oder M36. Bei der BLS Netz AG werden ausschliesslich M36-Fundamentschrauben verwendet. Grundgedanke dieser Vereinheitlichung war, dass jedes Fundament die maximal mögliche Belastung eines Mastes HEB 260 aufnehmen kann.

Das Standard-Fundament Typ FS1 ist für einen Baugrund mit einem inneren Reibungswinkel $\varphi \geq 27^\circ$ und für eine Böschungsneigung bis max. $\beta \leq 33^\circ$ zugelassen. Da im vorliegenden Projekt die Böschungsneigung im ganzen Perimeter $\beta > 33^\circ$ beträgt, wird für die Fahrleitungsfundamente im vorliegenden Bericht ein projektspezifischer Nachweis erbracht.

2 Baustoffe und Materialkennwerte

2.1 Beton

Tabelle 2-1: Betoneigenschaften

Beton	Druckfestigkeitsklasse	Expositions-klasse	Grösstkorn $D_{\max}$	Chloridgehalts-klasse	Frosttausalz-widerstand	AAR-Widerstand
NPK D (T1)	C25/30	XC4, XD3, XF2	32 mm	Cl 0.1	mittel	AAR-beständig

Widerstandsbeiwert Beton: $\gamma_c = 1.5$

Beiwert η_t : $\eta_t = 1.0$

Als Bemessungswerte sind unter Berücksichtigung von γ_c und η_t die folgenden Werte (gemäss SIA 262) zu berücksichtigen:

Ortbeton NPK D:

$$f_{cd} = 16.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{cd} = 1.0 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{cm} = 30 \text{ kN/mm}^2$$

2.2 Betonstahl

Tabelle 2-2: Eigenschaften Betonstahl

Bauteil	Betonstahl
Bewehrung und Ankerstangen	B500B

Widerstandsbeiwert Betonstahl: $\gamma_s = 1.15$

Als Bemessungswerte sind unter Berücksichtigung von γ_s die folgenden Werte (gemäss SIA 262) zu berücksichtigen:

Bewehrungsstahl B500B:

$$f_{sd} = 435 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{ud} = 0.045$$

$$E_s = 205 \text{ kN/mm}^2$$

Bewehrungsüberdeckung:

$$c_{nom} = 55 \text{ mm}$$

5 Einwirkungen

Die Annahmen für die Einwirkungen beruhen gleich wie beim BLS-Standardfundament auf dem SBB Dokument Nr. 0161.1011.0003d5 (Stand 24.03.2016). Dieses Dokument dient auch als Grundlage für das SBB-Mastdimensionierungsprogramm.

Eine Lastkombination mit Einwirkungen senkrecht und parallel zum Gleis wird nicht untersucht. Die Lastkombinationen sind mit den maximalen Lasten senkrecht oder parallel zum Gleis abgedeckt.

Tabelle 5-1: Geologische Kennwerte charakteristisch

Last-fall	Mast	Vertikale Last $V_{z,k}$	Horizontale Last quer $H_{x,k}$	Moment quer $M_{y,k}$	Horizontale Last längs $H_{y,k}$	Moment längs $M_{x,k}$
1	bis HEB 260	150 kN	17 kN	135 kNm	0	0
2	bis HEB 260	150 kN	0	0	17 kN	135 kNm

Die zulässige Schiefstellung des Fundaments beträgt $\tan(\alpha) = 0.005$ (1: 200).

6 Nachweis

Der Nachweis des eingespannten Blockfundamentes erfolgt mit dem Verfahren nach Steckner.

6.1 Nachweis quer zum Gleis

	Seite 5

Program DC-Fundament *** Copyright 2006-2026 ALLPLAN GmbH ***

Eingabedatei: P:\4200-4299\4233 B Erneuerung GHT\07_Auflageprojekt (33)\05_Berechnungen\FLM-Fundament
 \260504_ssa_FLM43N_quer.dbf

Fundament-Berechnung nach SIA 267

Erddruck nach SIA 261

Berechnung eines eingespannten Blockfundaments nach Steckner (Bautechnik 2/1989)

Fundamenttyp: Einzelfundament

Fundamentabmessungen

Breite b : 1.00 m
 Breite quer a : 1.00 m
 Unterkante : -2.80 m
 Höhe h : 2.80 m
 Stütze b x d = : 0.60 x 0.60
 Wichte γ : 25.00 kN/m³

Schichtdaten

Kies

Schichthöhe Δh [m] 100.00
 Innere Reibung $\tan \varphi'$ [°] 38.00
 Kohäsion c [kN/m²] 4.00
 Wichte Boden γ [kN/m³] 21.50
 Wichte unter Auftrieb γ' [kN/m³] 11.50
 Steifemodul E_s [MN/m²] 40.00
 zul. Bodenpressung [kN/m²]

Einzellasten

Lastfall	Kat.	V [kN]	H _x [kN]	H _y [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	x [m]	y [m]	z [m]	γ Grundbau	γ Bemess.	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Eigengew.	G	70.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	-2.80	1.35	1.35			
1	G	150.0	8.5	0.0	0.0	67.5	0.00	0.00	1.20	1.35	1.35			
2	Nutz.A	0.0	8.5	0.0	0.0	67.5	0.00	0.00	1.20	1.50	1.50	0.70	0.50	0.30

Teilsicherheitsbeiwerte für GZ Typ 1

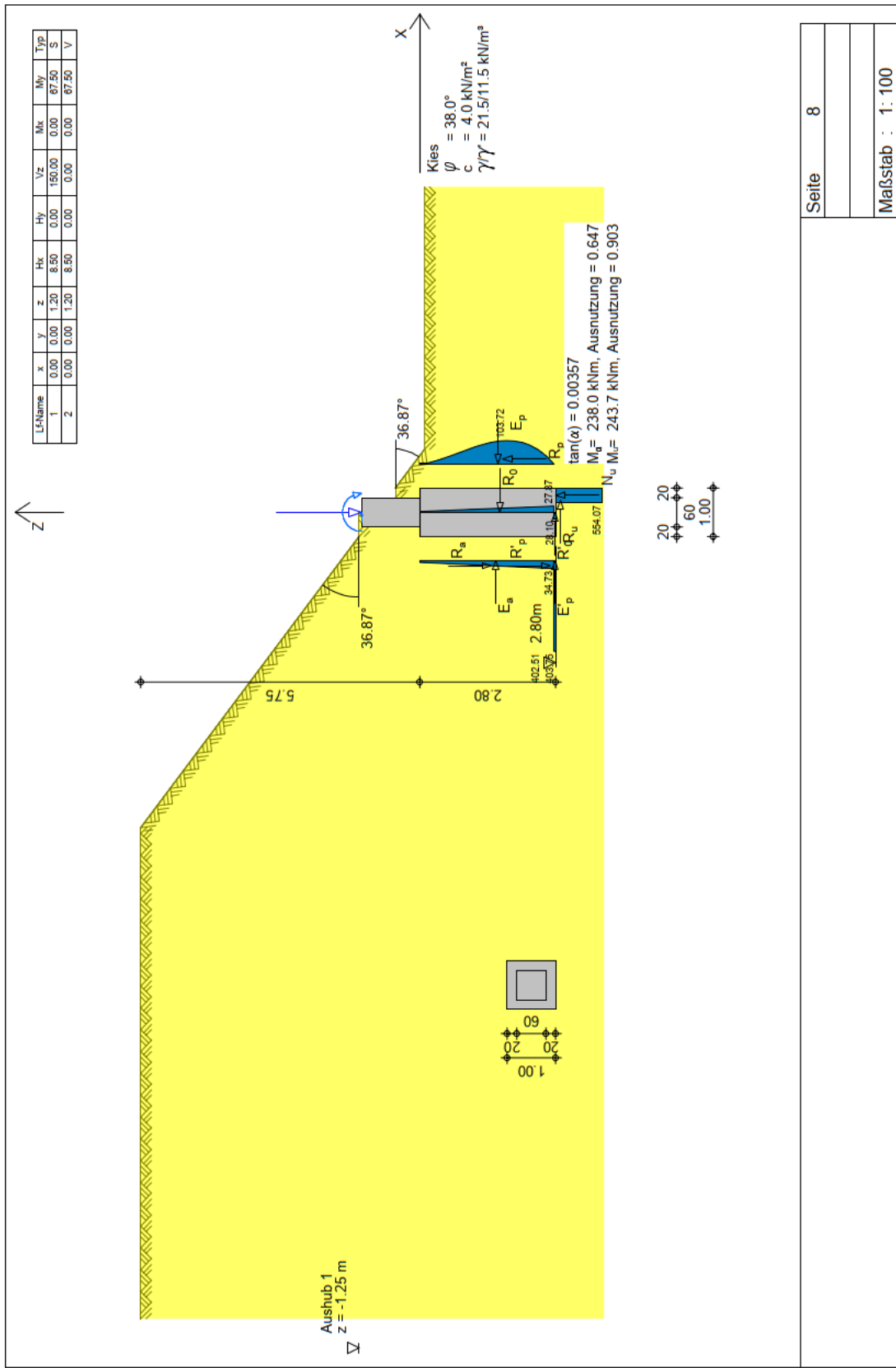
γ	G,inf	G,sup	Q	Ea
	0.90	1.10	1.50	1.35

Teilsicherheitsbeiwerte für GZ Typ 2

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

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

		Seite	7
Reaktionsmoment der stirnseitigen Einspannung M_1 = 286.1 kNm Sohlenreaktionsmoment M_2 = 8.0 kNm Resultierendes Moment M_d = 238.0 kNm			
Für die resultierende Schiefstellung $\tan\alpha = 0.00357$: Bereich 1: Sohlenreibung wirksam ($\tan\alpha \leq \tan\alpha_i$)			
$M < M_{d0}$, Ausnutzungsgrad = 0.647 *** Nachweis erfüllt ***			
Standortsicherheitsnachweis			
Maßgebende Lastkombination Nr. 4			
Vertikale Belastung N_d = 232.7 kN			
Horizontale Belastung H_d = 24.2 kN			
Moment an Oberkante M_d = 220.1 kNm			
Erddruckkräfte und Hebelarme zu OK Fundament (Bemessungswerte)			
Der passive Erddruck bis zum Drehpunkt wurde auf den mobilisierten Anteil abgemindert zu $0.25 \cdot E_{p,k}$			
	Erddruck	Hebelarm	Reibung
	[kN]	[m]	[kN]
Aktiv $E_{a,d}$	211.5	1.571	74.2
Passiv über Nulllinie $E_{p,d}$	305.7	1.612	147.3
Passiv unter Nulllinie $E_{p,d}'$	19.8	2.787	9.5
Ruhe über Nulllinie $E_{0,d}$	94.0	1.649	44.5
Ruhe unter Nulllinie $E_{0,d}'$	1.5	2.787	0.7
Res. Erdwiderstand über Nulllinie $E_{w,d}$	138.7	1.687	
Res. Erdwiderstand unter Nulllinie $E_{w,d}'$	20.5	2.787	
Ansatz Wandreibungswinkel δ_p zu		-0.500 $\cdot\varphi$	
Ideelle Druckwandbreite b_d = 2.547 m			
Höhe Nulllinie y über UK = 0.027 m			
Bodenpressung $p_{u,d}$ = 395.8 kN/m ²			
Bodendruckkraft $N_{u,d}$ = 120.8 kN			
Hebelarm Bodendruckkraft u = 0.347 m			
Reibungskraft $R_{u,d}$ = 94.0 kN			
Grenzmoment M_u = 243.7 kNm			
$M_d < M_u$, Ausnutzungsgrad = 0.903 *** Nachweis erfüllt ***			



6.2 Nachweis längs zum Gleis

	Seite	5

Programm DC-Fundament *** Copyright 2006-2026 ALLPLAN GmbH ***

Eingabedatei: P:\4200-4299\4233 B Erneuerung GHT\07_Auflageprojekt (33)\05_Berechnungen\FLM-Fundament
 \FLM_43N_quer_def\260512_ssa_FLM43N_längs_zentr.dbf

Fundament-Berechnung nach SIA 267

Erddruck nach SIA 261

Berechnung eines eingespannten Blockfundaments nach Steckner (Bautechnik 2/1989)

Fundamenttyp: Einzelfundament

Fundamentabmessungen

Breite b : 1.00 m
 Breite quer a : 1.00 m
 Unterkante : -2.80 m
 Höhe h : 2.80 m
 Stütze b x d = : 0.60 x 0.60
 Wichte γ : 25.00 kN/m³

Schichtdaten

	Kies
Schichthöhe Δh [m]	100.00
Innere Reibung α φ' [°]	38.00
Kohäsion c [kN/m ²]	4.00
Wichte Boden γ [kN/m ³]	21.50
Wichte unter Auftrieb γ' [kN/m ³]	11.50
Steifemodul E_s [MN/m ²]	40.00
zul. Bodenpressung [kN/m ²]	

Einzellasten

Lastfall	Kat.	V [kN]	H _x [kN]	H _y [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	x [m]	y [m]	z [m]	γ Grundbau	γ Bemess.	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Eigengew.	G	70.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	-2.80	1.35	1.35			
1	G	150.0	0.0	8.5	-67.5	0.0	0.00	0.00	1.20	1.35	1.35			
2	NutzA	0.0	0.0	8.5	-67.5	0.0	0.00	0.00	1.20	1.50	1.50	0.70	0.50	0.30

Teilsicherheitsbeiwerte für GZ Typ 1

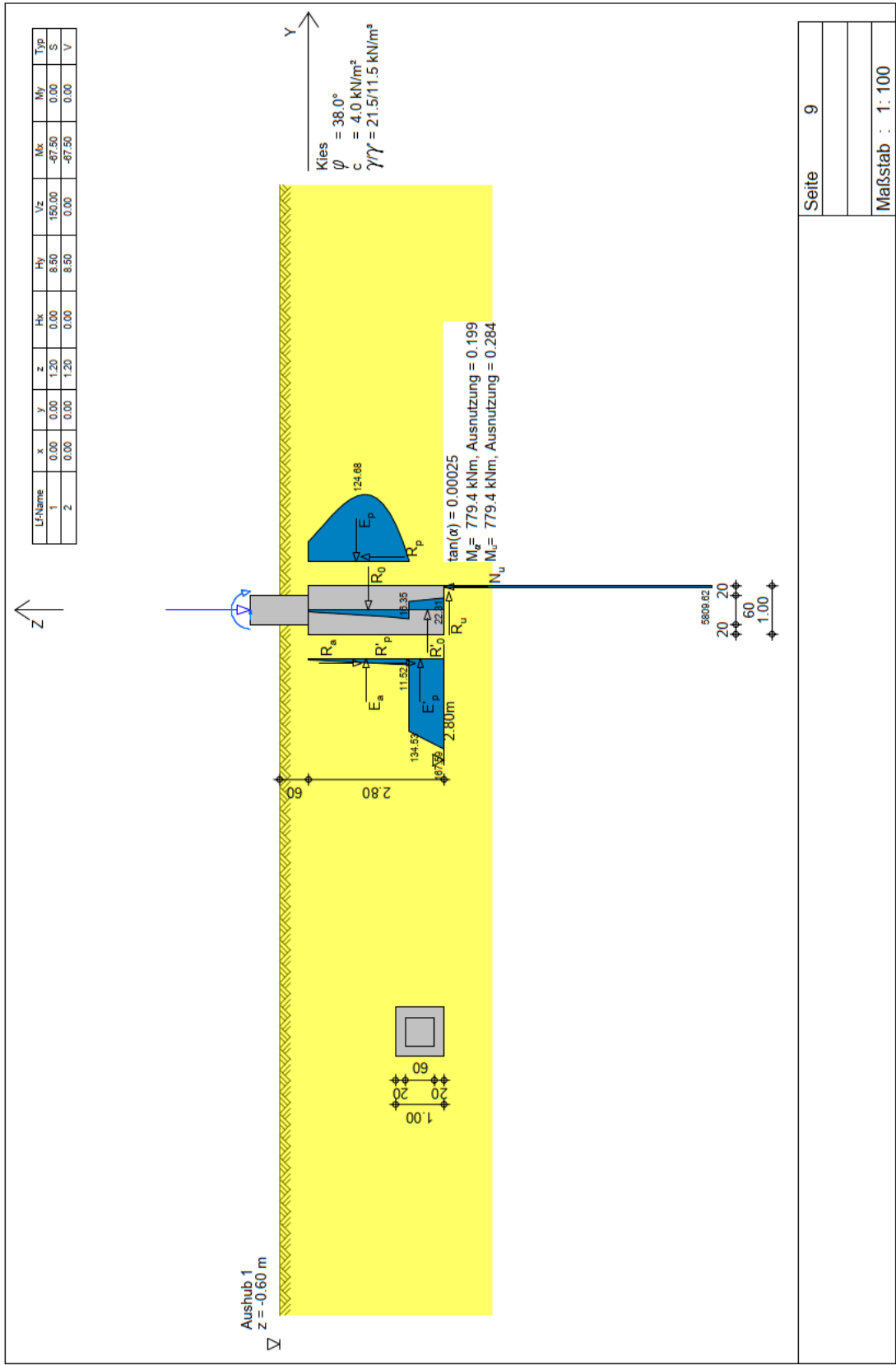
γ	G _{inf}	G _{sup}	Q	Ea
	0.90	1.10	1.50	1.35

Teilsicherheitsbeiwerte für GZ Typ 2

γ	G	Q	R	R _h	γ	φ	c	cu	Ea	E _{0g}	E _p	G _{inf}
	1.35	1.50	1.00	1.00	1.00	1.20	1.50	1.50	1.35	1.35	1.40	1.00

γ - Teilsicherheitsbeiwert für ...
 G ständige Lasten
 Q veränderliche Lasten
 R Partialfaktor Grundbruch
 R_h Gleitwiderstand
 γ Wichte
 φ Reibungsbeiwert $\tan \varphi$
 c Kohäsion c
 cu Kohäsion undrained
 Ea Aktiver Erddruck
 E_{0g} Ruhedruck

		Seite	7																																									
Reaktionsmoment der stirnseitigen Einspannung $M_1 = 1382.7 \text{ kNm}$ Sohlenreaktionsmoment $M_2 = 69.2 \text{ kNm}$ Resultierendes Moment $M_a = 779.4 \text{ kNm}$ (M_a begrenzt auf M_u) Für die resultierende Schiefstellung $\tan\alpha = 0.00025$: Bereich 1: Sohlenreibung wirksam ($\tan\alpha \leq \tan\alpha_c$) $M < M_u$, Ausnutzungsgrad = 0.199 *** Nachweis erfüllt *** Standortsicherheitsnachweis Maßgebende Lastkombination Nr. 8 Vertikale Belastung $N_a = 232.7 \text{ kN}$ Horizontale Belastung $H_d = 24.2 \text{ kN}$ Moment an Oberkante $M_d = 221.5 \text{ kNm}$ Erddruckkräfte und Hebelarme zu OK Fundament (Bemessungswerte) Der passive Erddruck bis zum Drehpunkt wurde auf den mobilisierten Anteil abgemindert zu $0.25 \cdot E_{p,k}$ <table> <tr> <th></th><th>Erddruck [kN]</th><th>Hebelarm [m]</th><th>Reibung [kN]</th><th>Hebelarm [m]</th></tr> <tr> <td>Aktiv $E_{a,d}$</td><td>54.4</td><td>1.186</td><td>19.1</td><td>0.500</td></tr> <tr> <td>Passiv über Nulllinie $E_{p,d}$</td><td>371.0</td><td>0.961</td><td>178.8</td><td>0.500</td></tr> <tr> <td>Passiv unter Nulllinie $E_{p,d}'$</td><td>202.8</td><td>2.453</td><td>134.2</td><td>0.500</td></tr> <tr> <td>Ruhe über Nulllinie $E_{0,d}$</td><td>113.0</td><td>1.016</td><td>53.5</td><td></td></tr> <tr> <td>Ruhe unter Nulllinie $E_{0,d}'$</td><td>58.6</td><td>2.453</td><td>27.8</td><td></td></tr> <tr> <td>Res. Erdwiderstand über Nulllinie $E_{w,d}$</td><td>370.1</td><td>0.936</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>Res. Erdwiderstand unter Nulllinie $E_{w,d}'$</td><td>230.5</td><td>2.453</td><td></td><td></td></tr> </table> Ansatz Wandreibungswinkel δ_p zu Ideeelle Druckwandbreite $b_d = 2.590 \text{ m}$ Höhe Nulllinie y über UK = 0.721 m Bodenpressung $p_{u,d} = 4149.9 \text{ kN/m}^2$ Bodendruckkraft $N_{u,d} = 148.0 \text{ kN}$ Hebelarm Bodendruckkraft $u = 0.482 \text{ m}$ Reibungskraft $R_{u,d} = 115.3 \text{ kN}$ Grenzmoment $M_u = 779.4 \text{ kNm}$ $M_d < M_u$, Ausnutzungsgrad = 0.284 *** Nachweis erfüllt ***						Erddruck [kN]	Hebelarm [m]	Reibung [kN]	Hebelarm [m]	Aktiv $E_{a,d}$	54.4	1.186	19.1	0.500	Passiv über Nulllinie $E_{p,d}$	371.0	0.961	178.8	0.500	Passiv unter Nulllinie $E_{p,d}'$	202.8	2.453	134.2	0.500	Ruhe über Nulllinie $E_{0,d}$	113.0	1.016	53.5		Ruhe unter Nulllinie $E_{0,d}'$	58.6	2.453	27.8		Res. Erdwiderstand über Nulllinie $E_{w,d}$	370.1	0.936			Res. Erdwiderstand unter Nulllinie $E_{w,d}'$	230.5	2.453		
	Erddruck [kN]	Hebelarm [m]	Reibung [kN]	Hebelarm [m]																																								
Aktiv $E_{a,d}$	54.4	1.186	19.1	0.500																																								
Passiv über Nulllinie $E_{p,d}$	371.0	0.961	178.8	0.500																																								
Passiv unter Nulllinie $E_{p,d}'$	202.8	2.453	134.2	0.500																																								
Ruhe über Nulllinie $E_{0,d}$	113.0	1.016	53.5																																									
Ruhe unter Nulllinie $E_{0,d}'$	58.6	2.453	27.8																																									
Res. Erdwiderstand über Nulllinie $E_{w,d}$	370.1	0.936																																										
Res. Erdwiderstand unter Nulllinie $E_{w,d}'$	230.5	2.453																																										



6.3 Nachweis Bewehrung

6.3.1 Biegenachweis

Der Fundamentkopf wird bewehrt. Die maximalen Schnittkräfte treten am bei der Einspannung in den Fundamentkörper auf und betragen:

Der Nachweis erfolgt am Fundamentkopf mit den Abmessungen $a = b = 600$ mm.

Moment an OK Fundamentkörper $M_d = 221.5 \text{ kNm}$

Gewählte Bewehrung: 4 Ankerstangen M36 $\rightarrow A_s(2 \times \emptyset 36) = 2035 \text{ mm}^2$

$$m_{Rd} = A_s f_{sd} \left(d - \frac{A_s f_{sd}}{2 b f_{cd}} \right) = 2035 \cdot 435 \cdot \left(470 - \frac{2035 \cdot 435}{2 \cdot 600 \cdot 16.5} \right) = 376 \text{ kNm}$$

Mit: $d = a - c_{nom} - \emptyset / 2 = 600 - 115 - 36 / 2 = 472 \text{ mm}$

$m_{Ed} = 221.5 \text{ kNm} < 376 \text{ kNm} = m_{Rd} \rightarrow$ Nachweis erfüllt

6.3.2 Querkraftnachweis

Der Querkraftnachweis wird am Fundamentkopf geführt. Es wird konservativ eine Momentenausnutzung von 100% angenommen. Der Querkraftnachweis ist ohne Bügelbewehrung erfüllt. Der Fundamentkopf wird konstruktiv mit geschlossenen horizontalen Bügeln $\emptyset 10$ mm, $s = 150$ mm bewehrt.

Beton	C25/30		
Schubfestigkeit	T_{cd}	1.00	N/mm ²
Druckfestigkeit	f_{cd}	16.50	N/mm ²
Grösstkorn	D_{max}	32	
E-Modul	E_c	32075	N/mm ²
Betonstahl	B500B		
Bemessungswert	f_{sd}	435	N/mm ²
E-Modull	E_{sd}	210000	N/mm ²
n	E_s / E_c	6.55	
Abmessungen			
Stärke Querschnitt	t_w	600	mm
Breite	b	600	mm
Bewehrungsüberdeckung	c_{nom}	55	mm
Bewehrungsdurchmesser	$\emptyset$	36	mm
Statische Höhe	d_w	527	mm
Einwirkung im Nachweisschnitt			
Schub	V_{Ed}	24.2	kN
Moment	m_{Ed}	1	kNm
Widerstandsmoment	m_{Rd}	1	kNm
Koeffizient	$k_g = 48 / (16 + D_{max})$	1.00	
Koeffizient	$\varepsilon_v = (f_{sd} / E_{sd}) \cdot (m_{Ed} / m_{Rd})$	0.0021	
Koeffizient	$k_d = 1 / (1 + \varepsilon_v \cdot d_w \cdot k_g)$	0.478	
Nachweis			
Schubwiderstand	$V_{Rd} = T_{cd} \cdot b \cdot d_w \cdot k_d$	151.2	kN
Sicherheitsfaktor	SF	6.25	
Ausnützungsgrad	eff	0.16	

7 Projektorganisation

Bauherrschaft

BLS Netz AG

Freiburgstrasse 130
3001 Bern

vertreten durch

Multiprojekte & Ingenieurbau

Leiter Multiprojekte & Ingenieurbau

Yves Zollinger

Tel. 058 / 327 40 83

E-Mail yves.zollinger@bls.ch

Projektleiter

Simon Peter

Tel. 058 / 327 27 22

E-Mail simon.peter@bls.ch

Projektverfasser

Allianz GHT

Vertreten durch Gähler und Partner AG

Gesamtleiter Planung: Rolf Reichmuth

Tel. 056 200 95 60

E-Mail r.reichmuth@gpag.ch

Fragen und Korrespondenz während des Plangenehmigungsverfahrens sind an den zuständigen Projektleiter zu richten.

8 Grundlagen

- [1] SR 734.2 Verordnung über elektrische Starkstromanlagen (Starkstromverordnung), vom 30. März 1994 (Stand am 1. Juni 2019)
- [2] SR 742.141.1 Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung, EBV), vom 23. November 1983 (Stand am 15. Juli 2018), inkl. deren Ausführungsbestimmungen und Kommentare VSS 640 075 «Fussgängerkehr - Hindernisfreier Verkehrsraum»
- [3] SR 734.31 Verordnung über elektrische Leitungen (Leitungsverordnung, LeV), vom 30. März 1994 (Stand am 1. Juni 2019)
- [4] EN SN 50119 Bahnanwendungen, Ortsfeste Anlagen, Oberleitungen für den elektrischen Zugbetrieb
- [5] SIA 260 Grundlagen der Projektierung von Tragwerken
- [6] SIA 261 Einwirkungen auf Tragwerke
- [7] SIA 262 Betonbau
- [8] SIA 267 Geotechnik
- [9] R RTE 27200 Bemessung von Fahrleitungstragwerken
- [10] SBB Dokument Nr. 0161.1011.0003d⁵
- [11] 01.92 Nutzungsvereinbarung, Erneuerung Grosshöchstettentunnel, Auflageprojekt
- [12] 01.93 Projektbasis, Erneuerung Grosshöchstettentunnel, Auflageprojekt
- [13] 10.05.02 Geologischer Bericht, Erneuerung Grosshöchstettentunnel, Auflageprojekt
- [14] 04.01 Situationsplan, Erneuerung Grosshöchstettentunnel, Auflageprojekt
- [15] 06.01 Normalprofile, Erneuerung Grosshöchstettentunnel, Auflageprojekt
- [16] 07.01 Querprofile, Erneuerung Grosshöchstettentunnel, Auflageprojekt