IG Zugkunft

228

Erneuerung Waldenburgerbahn

Los 4: Hölstein bis Hirschlang

Auflageprojekt

Statische Berechnung
N-07 Stützmauer bei Liegenschaften

Version 2.01 l 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, Prüfingenieur WMM
Datei	\\NTMUTTENZ\p\701907\07_BER\2019-05-03 Dossier PGV\Grundlagedateien\228 Statische Berechnung N-07 Stützmauer bei Liegenschaften 20190503.docx
Seitenanzahl	14

Inhalt

Änderungsverzeichnis ii

Zusammenfassung iii

1 Einleitung 1

2 Systembeschreibung 1

2.1 Tragsystem 1

2.2 Systemskizzen 1

3 Belastungen und Einwirkungen 2

3.1 Ständige Einwirkungen 2

3.2 Veränderliche Einwirkungen 2

3.2.1 Haupteinwirkungen 2

3.2.2 Entgleisung 2

3.2.3 Temperatur 2

3.2.4 Erddruck aus Auflasten 2

3.2.5 Dynamischer Beiwert gem. Art. 11.3.1 2

3.2.6 Geländer / Brüstung / Handlauf gem. SIA 261, Art. 13.2 für Brücken 2

3.2.7 Lasten aus Fahrleitungsmast 2

3.2.8 Aushub vor Stützmauer 3

3.3 Aussergewöhnliche Einwirkungen 4

4 Baustoffe 4

4.1 Beton 4

4.2 Bewehrung 4

4.3 Abdichtung 4

4.4 Baugrund im Bereich Stützmauer 4

5 Berechnung 5

5.1 Winkelstützmauer 5

5.2 Weitere Untersuchungen 5

5.2.1 Ermüdung 5

5.2.2 Entgleisung 5

5.2.3 Erdbeben 6

Anhang A Berechnung Stützmauer A-1

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

Die Stützmauer bei Liegenschaften (BLT-Arbeitsnummer N-07) ist Bestandteil des Projektes Erneuerung Waldenburgerbahn, Los 4 Hölstein - Hirschlang und liegt ca. bei Bahn-km 8.692 bis 8.764 zwischen dem Bahngleis und verschiedener privater Liegenschaften in Hölstein - Unterfeld.

Zwischen dem Niveau der Gärten und dem geplanten Bahngleis beträgt die Höhendifferenz ca. 1.50 bis 4.00 m. Für eine natürliche Böschung ist hier zukünftig kein Platz mehr.

Der Eingriff in die Böschung erfordert eine neue Stützkonstruktion. Die geplante Stützmauer bei Liegenschaften ist ca. 72 m lang und bis zu ca. 5.40 m hoch, wovon ca. 1.35 bis 3.80 m von den Liegenschaften / Gärten aus sichtbar sein werden. Die Stützmauer wird als Stahlbetonkonstruktion mit böschungsseitigem Winkel ausgebildet.

Die Winkelstützmauer schliesst mit einer Dilatationsfuge an die südlich flankierende Stützmauer Perron (BLT-Arbeitsnummer N-06) an.

1 Einleitung

Die im Folgenden beschriebene Stützmauer bei Liegenschaften (BLT-Arbeitsnummer N-07) ist Bestandteil des Projektes Erneuerung Waldenburgerbahn, Los 4 Hölstein - Hirschlang und liegt ca. bei Bahn-km 8.692 bis 8.764 zwischen dem Bahngleis und verschiedener privater Liegenschaften in Hölstein - Unterfeld.

Zwischen dem Niveau der Gärten und dem geplanten Bahngleis beträgt die Höhendifferenz ca. 1.50 bis 4.00 m. Für eine natürliche Böschung ist hier zukünftig kein Platz mehr.

2 Systembeschreibung

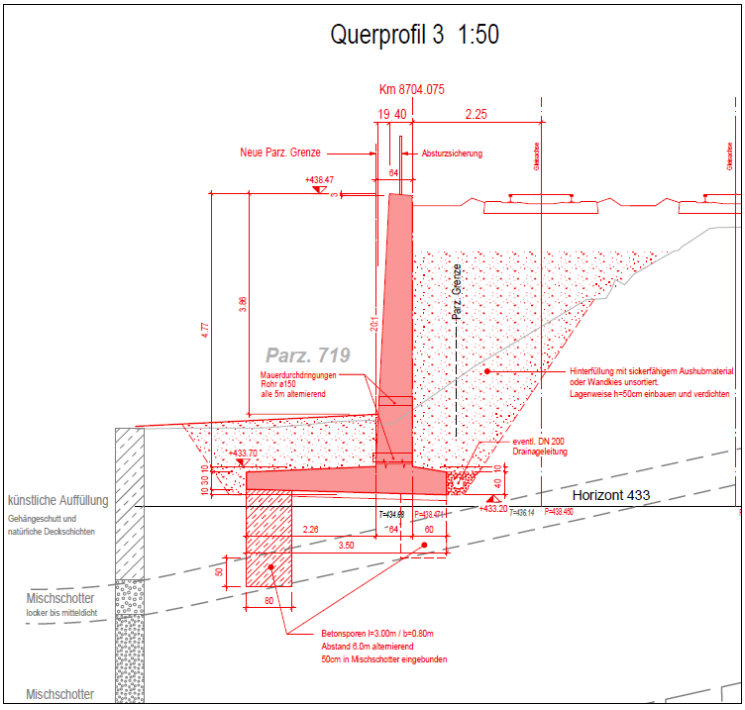
2.1 Tragsystem

Die neue Stützmauer hat eine Länge von 71 m. Die Höhe ab OK Fundament variiert zwischen 2.90 und 4.70 m. Der zur Statik beigelegte Bauwerksplan gibt Auskunft über weitere Abmessungen.

Die Stützmauer trägt als Winkelstützmauer. Das Fundament der Winkelstützmauer steht auf Betonsporen. Die Sporen sind jeweils entweder berg- oder talseitig angeordnet, jeweils alle 6 m im Wechsel. Die Sporen haben eine Länge von je 3.0 m und eine Breite von 80 cm.

Um die Betonsporen im Statik-Programm zu modellieren, wurde tal- und bergseitig, aber dafür nur auf die Hälfte der Breite (also 40 cm) die Betonsporen mit folgenden Baugrundparameter eingefügt:
φ'_K = 90° (weil der Beton gerade steht),
γ_K = 24 kN/m^3 (für Magerbeton)
c'_K = 500 kN/m^2 (Kohäsion = halb so viel wie für Konstruktionsbeton).

2.2 Systemskizzen



3 Belastungen und Einwirkungen

3.1 Ständige Einwirkungen

Einwirkungen	Charakteristische Werte	Referenz
Eigenlasten	γBeton = 25 kN/m^3	SIA 261, Tab. 30
Auflasten	Schotterbett, Schwellen, Schienen	
Erddruck	γErde = 20 - 21 kN/m^3 φ = 25° - 34° c'_k = 0 - 12 kN/m^2 Siehe auch Punkt 4.4	

3.2 Veränderliche Einwirkungen

3.2.1 Haupteinwirkungen

Schmalspurbahnverkehr:
- Lastmodell 4 (zwei Einzellasten von 130 kN in einem Abstand von 1.6 m, davor und danach in einem Abstand von 80 cm eine Linienlast von 25 kN/m (SIA 261, 12.2))
- Ermüdung (SIA 262, 4.3.8.1)
- Schlingerkräfte werden auf Grund der Lage der Gleise zur Stützmauer vernachlässigt

3.2.2 Entgleisung

Lastmodell 4 nach SIA 261, 12.5

3.2.3 Temperatur

Die Wand wird für hohe Anforderungen bewehrt um eventuelle Risse infolge Verkürzungen und Dilatationen zu minimieren.

3.2.4 Erddruck aus Auflasten

Erddrücke aus Auflasten werden mit einem Ausbreitungswinkel von φ berücksichtigt.

3.2.5 Dynamischer Beiwert gem. Art. 11.3.1

Ist bei Stützmauern nicht zu berücksichtigen.

3.2.6 Geländer / Brüstung / Handlauf gem. SIA 261, Art. 13.2 für Brücken

Geländer: q_k = 0.4 kN/m (SIA 261, 13.2)

3.2.7 Lasten aus Fahrleitungsmast

Die beiden neuen Fahrleitungsmasten Nr. 22, 23 und 24 werden auf Fundamenten gegründet, die direkt mit der neuen Stützmauer monolithisch verbunden werden.

Die wirkenden Lasten am Fuss der Fahrleitungsmasten sind:

FL-Mast Nr. 22
$F_{vertikal}$ = 13.9 kN
$F_{horizontal}$ = 0 kN
$M_{senkrecht\ Gleis}$ = 41.8 kNm
$M_{parallel\ Gleis}$ = 18.6 kNm

FL-Mast Nr. 23
$F_{vertikal}$ = 10.1 kN
$F_{horizontal}$ = 0 kN
$M_{senkrecht\ Gleis}$ = 27.5 kNm
$M_{parallel\ Gleis}$ = 7.8 kNm

FL-Mast Nr. 24
$F_{vertikal}$ = 12.2 kN
$F_{horizontal}$ = 0 kN
$M_{senkrecht\ Gleis}$ = 43.3 kNm
$M_{parallel\ Gleis}$ = 8.1 kNm

Die vertikalen Kräfte sind im Vergleich zum Eigengewicht der Stützmauer und der vertikalen Komponente des Erddrucks vernachlässigbar.

Die Momente senkrecht zum Gleis wirken stabilisierend auf die Stützmauer.

Die Momente parallel zum Gleis sind vernachlässigbar.

3.2.8 Aushub vor Stützmauer

Während den Bauarbeiten wird das Gleis der heutigen Waldenburgerbahn stillgelegt und entfernt, so dass die Baugrube zur Stützmauer geböscht mit einer Neigung von 3:2 ausgehoben werden kann.

Damit Meteorwasser die Böschung nicht ausspült, sollte diese mit einer min. 0.2 mm starken Kunststofffolie abgedeckt werden. Dieser Böschungsschutz ist für die relativ kurze Bauzeit von ca. 1-2 Monaten ausreichend.

Bauzustände, bei denen luftseitig die Erde fehlen würde, sind aussergewöhnliche Zustände. Aufgrund der Herabsetzung der Sicherheitsfaktoren sind diese Zustände in diesem Fall für die Bemessung nicht massgebend.

3.3 Aussergewöhnliche Einwirkungen

Einwirkungen	Charakteristische Werte	Referenz
Entgleisung	Lastmodell 4	SIA 261, 12.5
Erdbeben	Bauwerksklasse II Bedeutungsfaktor γ = 1.2 Erdbebenzone Z2: $a_{g,d}$ = 1.0 m/s^2 Baugrundklasse vorwiegend Klasse E, gemäss geologisch-geotechnischer Untersuchungen, Absatz 4.1	SIA 261 Tabelle 25, 26 Ziffer 16.2.1.2 Tabelle 24

4 Baustoffe

4.1 Beton

Stützmauer, inkl. Fundamente	NPK Typ F (T3) Festigkeitsklasse: C 30/37 Expositionsklasse: XF2, XC4, XD3 Nennwert Grösstkorn D_{max} : 32 mm Klasse des Chloridgehalts, max: Cl 0.10 Konsistenzklasse: C3	f_{cd} = 20.0 N/mm^2 τ_{cd} = 1.1 N/mm^2

4.2 Bewehrung

Bewehrung für Konstruktions- und Spritzbeton	Stahl B 500 B	f_{sd} = 435 N/mm^2

4.3 Abdichtung

Die Stützmauer wird mit durchlässigem Erdmaterial hinterfüllt. Zusätzlich werden am Fuss der Stützmauer Entlastungsrohre eingebaut. Im Bereich von Dehnfugen wird erdseitig eine PBD Abdichtung auf die Wand geklebt.

4.4 Baugrund im Bereich Stützmauer

Für die Hinterfüllung des Bauwerks werden folgende Werte angenommen:

γ_K = 20 kN/m^3
φ'_K = 33
c'_K = 0 kN/m^2
δ'_K = ⅔ $\varphi_{K'}$= 22°

Für die bestehenden Baugrundschichten werden folgende Baugrundwerte angenommen:
Obere Schicht (kA, GL, DS):

γ_K = 20.5 kN/m^3
φ'_K = 25°
c'_K = 2 kN/m^2

Mischschotter:
γ_K = 21 kN/m^3
φ'_K = 34°
c'_K = 0 kN/m^2

Oberflächlichen, verwitterten Fels der Wildegg-Formation
γ_K = 22 kN/m^3
φ'_K = 31°
c'_K = 12 kN/m^2

5 Berechnung

Es wird die Stützmauer an der massgebenden Stelle bemessen.

5.1 Winkelstützmauer

Die Stützmauer wird im Programm Larix-7 der Firma Cedrus digitalisiert und bemessen.

Die Nutzlast wird wie folgt modelliert:
Gleichmässig verteilte Nutzlast auf einer Breite von 1.0 m und einer Länge von 11.0 m:
q = (2 * 130 kN + 25 kN/m * 7.8 m) / 11.0 m = 41.4 kN/m

Die gewählte Lastverteillänge von 11.0 m ergibt sich aus dem Ausbreitungswinkel unter den Einzellasten des Lastmodells Bahn für die untersuchte Stützmauerhöhe.

Die Berechnung ergibt dass die Kipp- und Gleitsicherheit sowie die Sicherheit gegen Grundbruch gegeben sind. (siehe dazu die Ergebnisse im Anhang A).

Die notwendige Bewehrung bei der Einspannung liegt unterhalb der Mindestbewehrung. Es werden folgende Bewehrungen eingelegt:
- Wandfuss, d = 60 cm: ∅ 18 mm alle 20 cm: 1'270 mm^2
- Fundament, d = 50 cm: ∅ 14 mm alle 15 cm: 1'020 mm^2.

Für den normalen Betriebsfall ist die Hangstabilität auch ohne Berücksichtigung der Scherkraft aus den Sporen gegeben.

5.2 Weitere Untersuchungen

5.2.1 Ermüdung

Der Anteil der Verkehrslast an der gesamt notwendigen Bewehrung liegt bei ca. 10%. Der Einfluss der Ermüdung wird durch den Boden noch zusätzlich gemildert. Aus diesen Gründen ist der Einfluss der Ermüdung vernachlässigbar.

5.2.2 Entgleisung

Es werden die Bemessung für beide Entgleisungslastmodelle 1 und 2 gemäss Tabelle 19 der SIA 261 untersucht. Für beide Fälle sind die Tragsicherheitsnachweise erfüllt. Die Ergebnisse sind am Ende des Anhang A dargestellt.

5.2.3 Erdbeben

Gemäss SIA 267, 7.2.3 kann der Nachweis der Tragsicherheit nur vernachlässigt werden wenn:
$\gamma_f * a_{g,d} * S \leq 1.5\ m/s^2$
Dies ist hier nicht der Fall weil: $\gamma_f * a_{g,d} * S = 1.2 * 1.0 * 1.4 = 1.68\ m/s^2$.

Der Nachweis erfolgt nach SIA 267, Ziffer 7.5.2.1:
Horizontale Erdbebeneinwirkung
$A_{h,d} = \gamma_f * a_{g,d} * S * G_k / (g * q_a * q_h) = 1.2 * 1.0 * 1.4 * G_k / (9.81 * 1.5 * 1.0) = 0.11 * G_k$

$e_{a,k\ Erdbeben} = 0.29 + 0.11 = 0.40$

Dieser Wert ist gleich gross wie der Wert für den normalen Bemessungsstand von:
$\gamma_F * e_{a,k} = 1.35 * 0.29 = 0.40$
(γ_F gemäss SIA 260, Tabelle 1)

Das Erdbeben ist somit für die Bemessung nicht massgebend.

6 Unterschriften

Ort: Datum: Unterschrift:

Der Projektverfasser

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

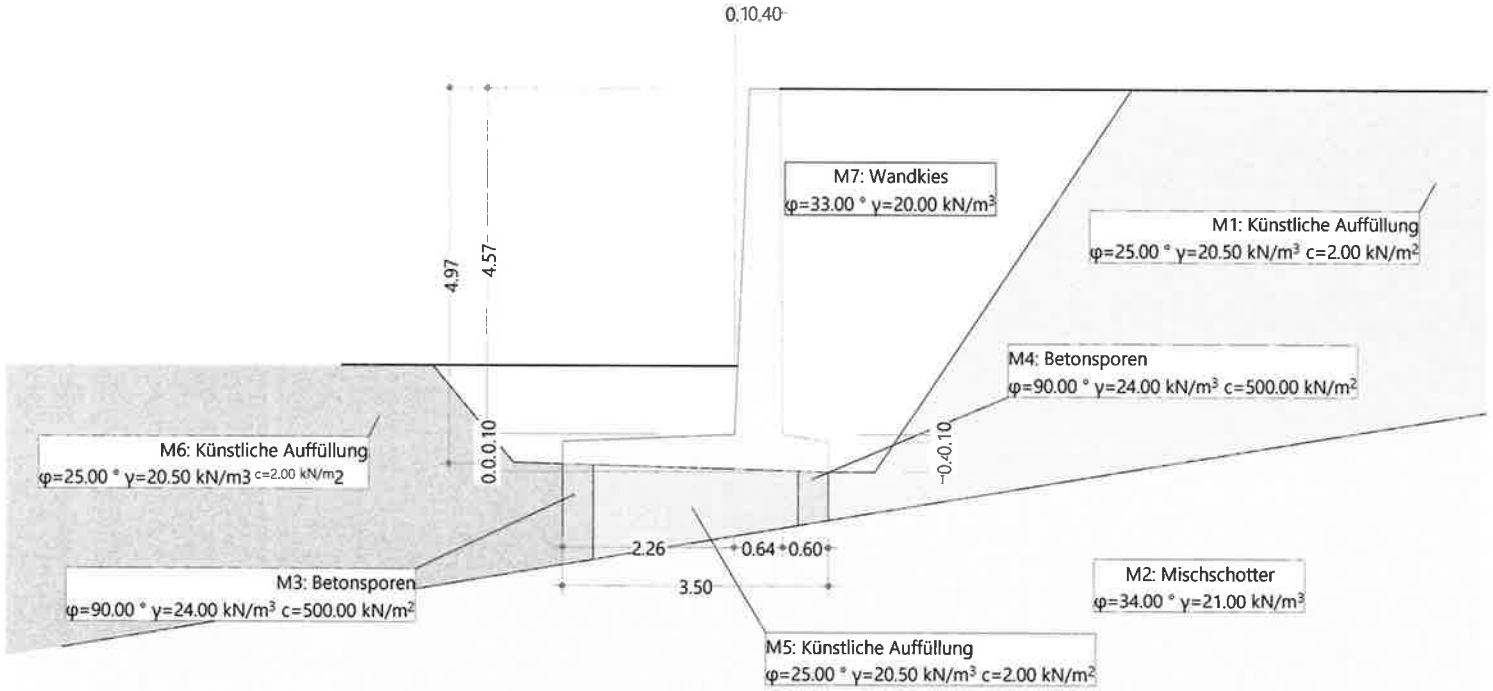
Der Prüfingenieur

WMM Ingenieure AG
Florenz-Strasse 1D
4142 Münchenstein Münchenstein, ...

Anhang A Berechnung Stützmauer

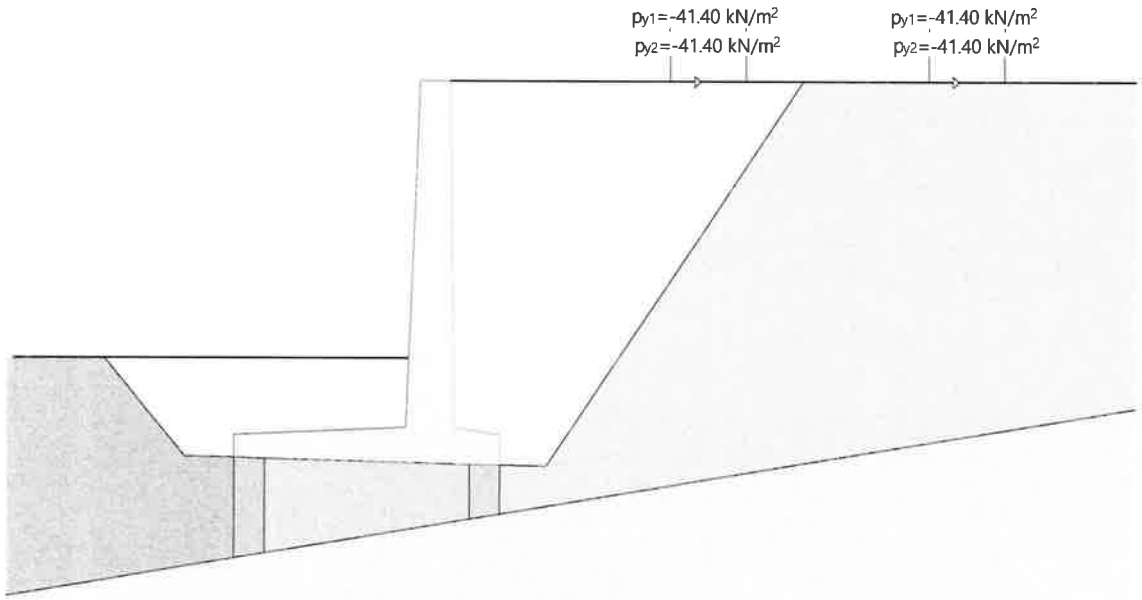
Baugrundmodell

Mstb. 1 :100.0 (-10.10,-8.40..9.14,2.32)



Belastung B0: Lastmodell 4

Mstb. 1 :100.0 (-5.75,-7.13,.8.89,3.31)



Grenzwerte

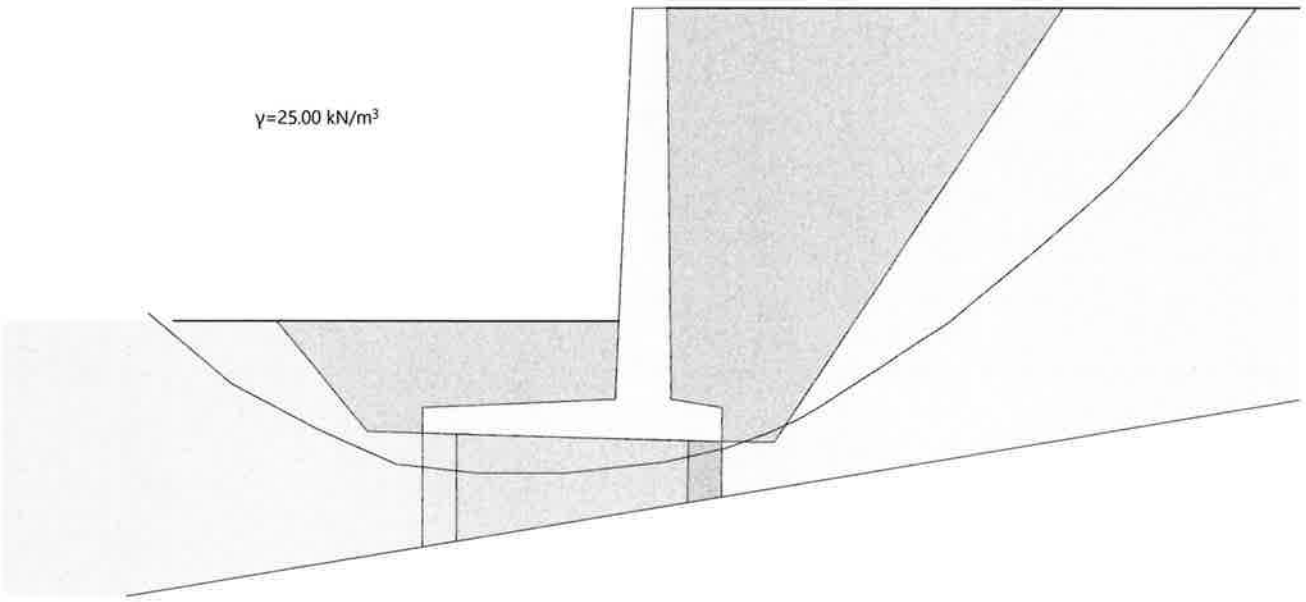
Nachweise

Nachweis	F_{vorh} [-]	F_{erf} [-]	β_{vorh} [‰]	β_{max} [‰]	GWS	EWK	
Kippen	1000.00	1.00			2	1	
Gleiten	1.28	1.00			4	5	
Grundbruch	6.07	1.00			4	1	
Verdrehung			0.21	2.00	1	1	

F_{vorh} : vorhandene Sicherheit
F_{erf} : erforderliche Sicherheit
β_{vorh} : vorhandene Verdrehung der Mauer
β_{max} : maximal erlaubte Verdrehung der Mauer
GWS : Grenzwertspezifikation
EWK : Einwirkungskombination

Gleitkreisdefinition: Polygone

Mstb. 1 :88.4 (-7.69,-6.80..7.32,1.10)



Grenzwerte: Definition mit polygonalen Gleitlinien

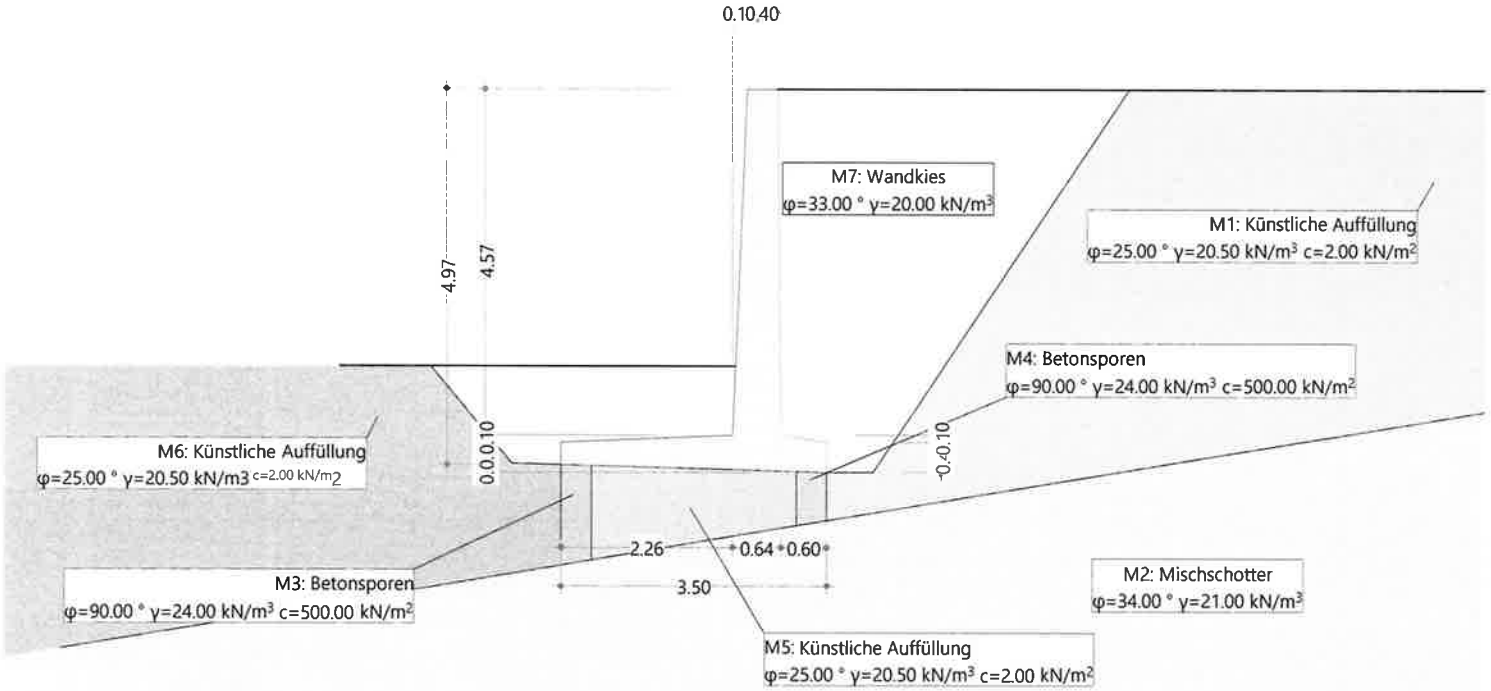
Gleitlinien mit den kleinsten Sicherheiten

GWS	EWK	Polygon	Anker	F_{vorh} [-]	L_{erf} [m]	L_{min} [m]	Bemerkung siehe Fussnoten	
1	1	1		1.29				
1	2	1		1.61				

GWS : Grenzwertspezifikation
EWK : Einwirkungskombination
F_{vorh} : vorhandene Sicherheit, erforderliche Sicherheit F_{erf} = 1.00
L_{erf} : berechnete, erforderliche freie Ankerlänge im Bereich L_{min} - L_{max}
L_{min} : eingegebene, minimale freie Ankerlänge

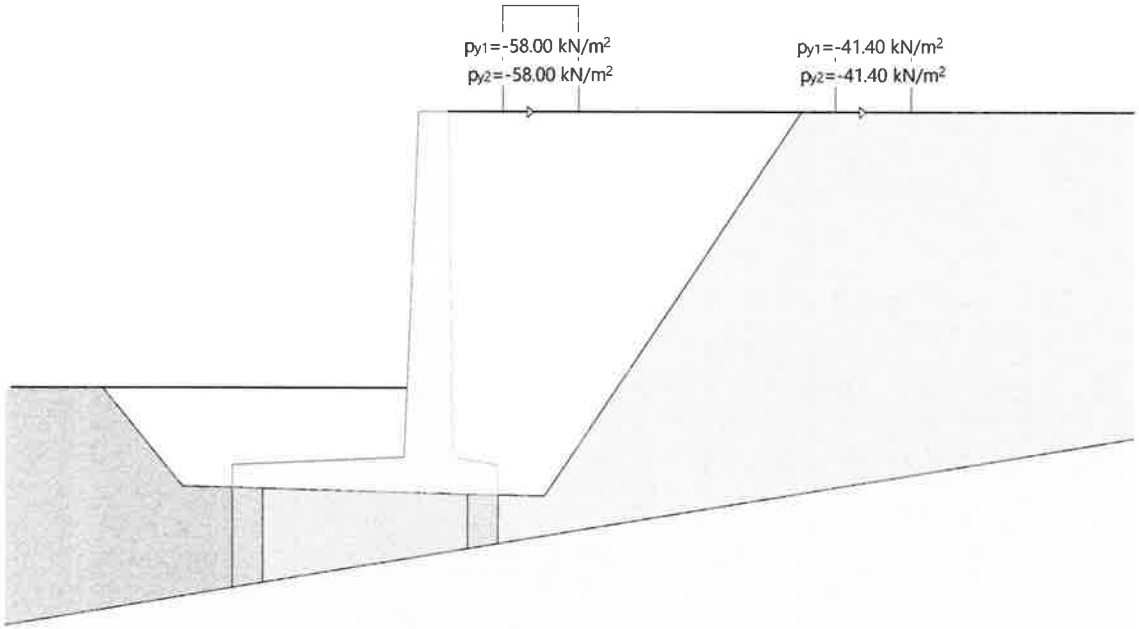
Baugrundmodell

Mstb. 1 :100.0 (-10.10,-8.40..9.14,2.32)



Belastung B0: Entgleisungslastmodell 1

Mstb. 1 :100.0 (-5.75,-7.13..8.89,3.31)



Grenzwerte

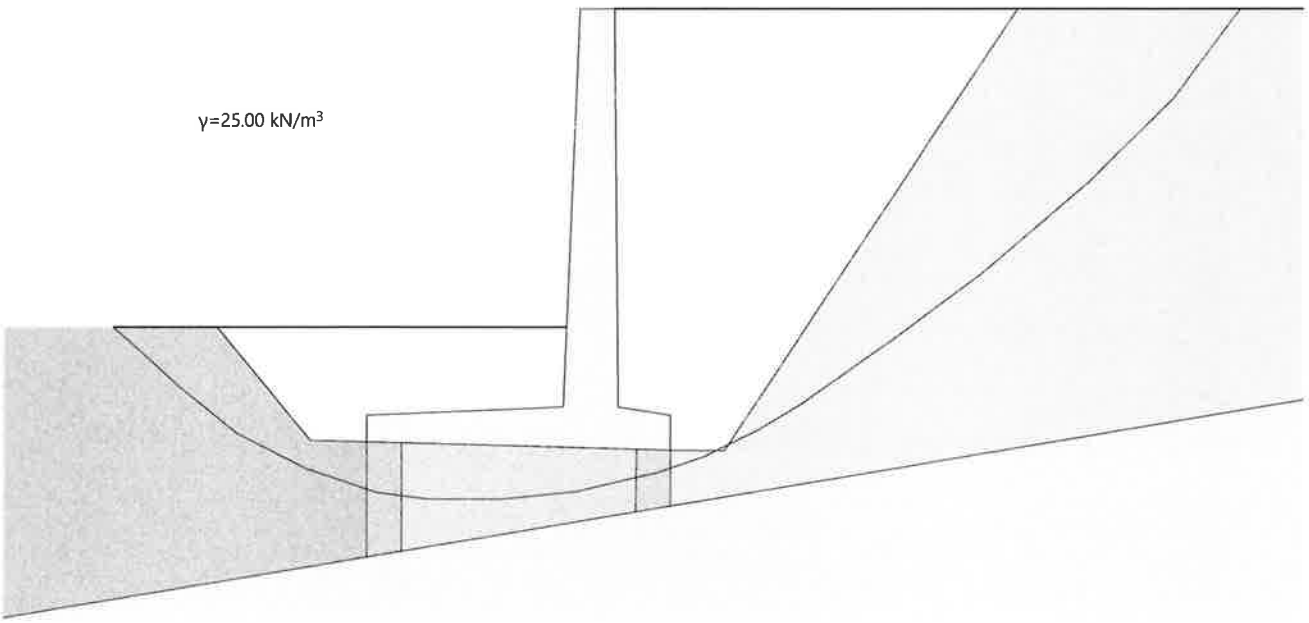
Nachweise

Nachweis	F_{vorh} [-]	F_{erf} [-]	β_{vorh} [‰]	β_{max} [‰]	GWS	EWK	
Kippen	7.30	1.00			3	1	
Gleiten	1.28	1.00			6	1	
Grundbruch	7.28	1.00			5	3	
Verdrehung			0.24	2.00	1	1	

F_{vorh} : vorhandene Sicherheit
F_{erf} : erforderliche Sicherheit
β_{vorh} : vorhandene Verdrehung der Mauer
β_{max} : maximal erlaubte Verdrehung der Mauer
GWS : Grenzwertspezifikation
EWK : Einwirkungskombination

Gleitkreisdefinition: Polygone

Mstb. 1 :86.9 (-6.93,-6.93..7.83,1.56)



Grenzwerte: Definition mit polygonalen Gleitlinien

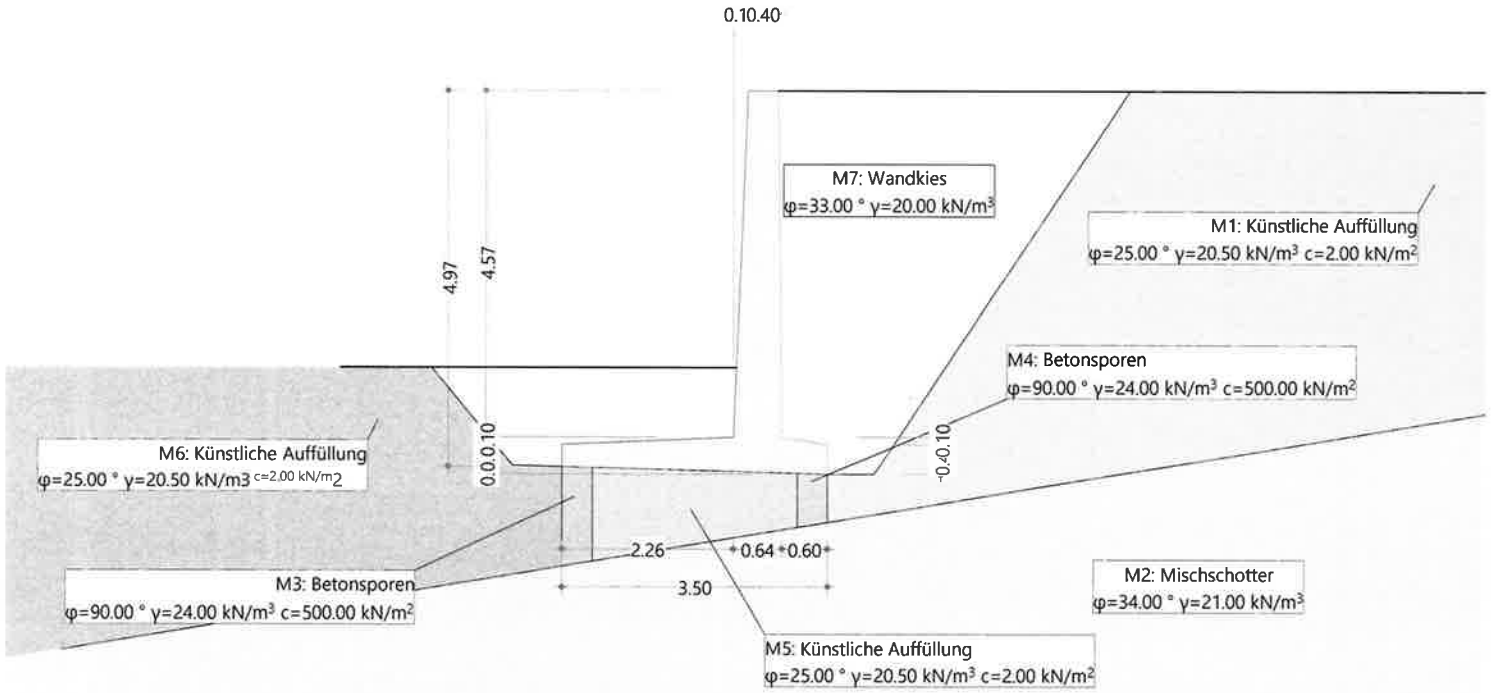
Gleitlinien mit den kleinsten Sicherheiten

GWS	EWK	Polygon	Anker	F_{vorh} [-]	L_{erf} [m]	L_{min} [m]	Bemerkung siehe Fussnoten	
2	1	1		1.49				
1	1	1		1.75				

GWS : Grenzwertspezifikation
EWK : Einwirkungskombination
F_{vorh} : vorhandene Sicherheit, erforderliche Sicherheit $F_{erf} = 1.00$
L_{erf} : berechnete, erforderliche freie Ankerlänge im Bereich L_{min} - L_{max}
L_{min} : eingegebene, minimale freie Ankerlänge

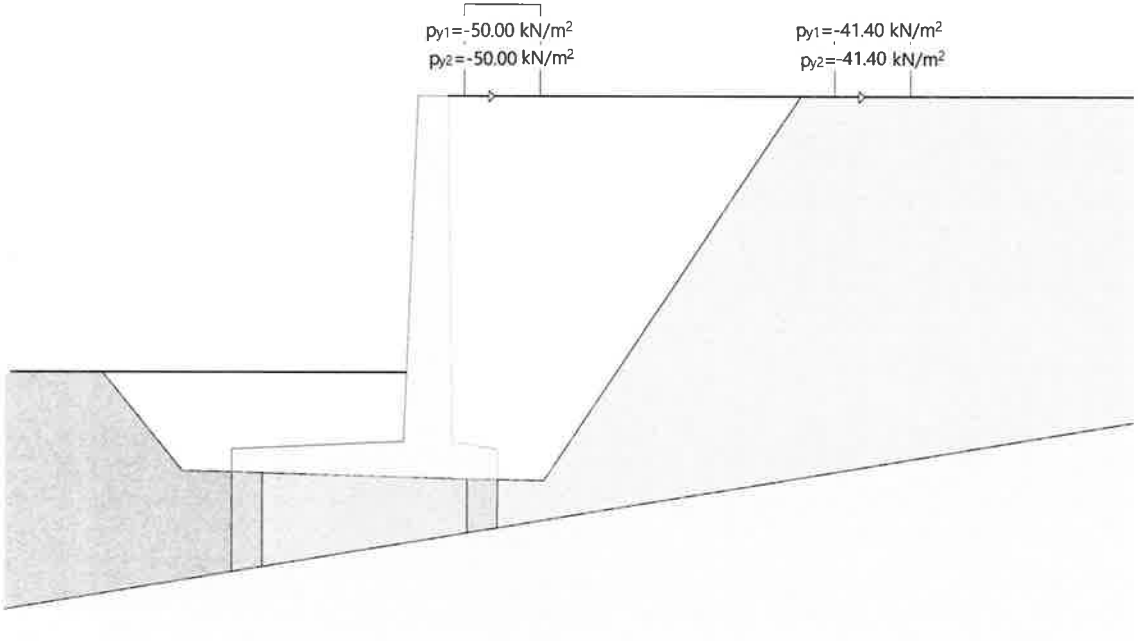
Baugrundmodell

Mstb. 1 :100.0 (-10.10,-8.40..9.14,2.32)



Belastung B0: Entgleisungslastmodell 1

Mstb. 1 :100.0 (-5.75,-7.13..8.89,3.31)



Grenzwerte

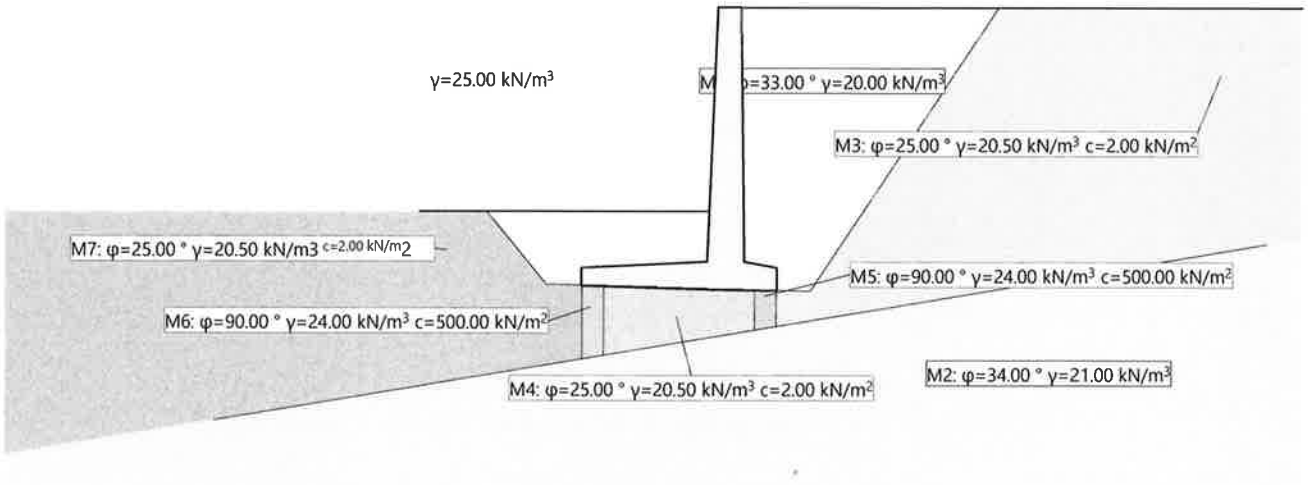
Nachweise

Nachwels	F_{vorh} [-]	F_{erf} [-]	β_{vorh} [‰]	β_{max} [‰]	GWS	EWK	
Kippen	5.92	1.00			3	1	
Gleiten	1.32	1.00			6	1	
Grundbruch	7.28	1.00			5	3	
Verdrehung			0.24	2.00	1	1	

F_{vorh} : vorhandene Sicherheit
F_{erf} : erforderliche Sicherheit
β_{vorh} : vorhandene Verdrehung der Mauer
β_{max} : maximal erlaubte Verdrehung der Mauer
GWS : Grenzwertspezifikation
EWK : Einwirkungskombination

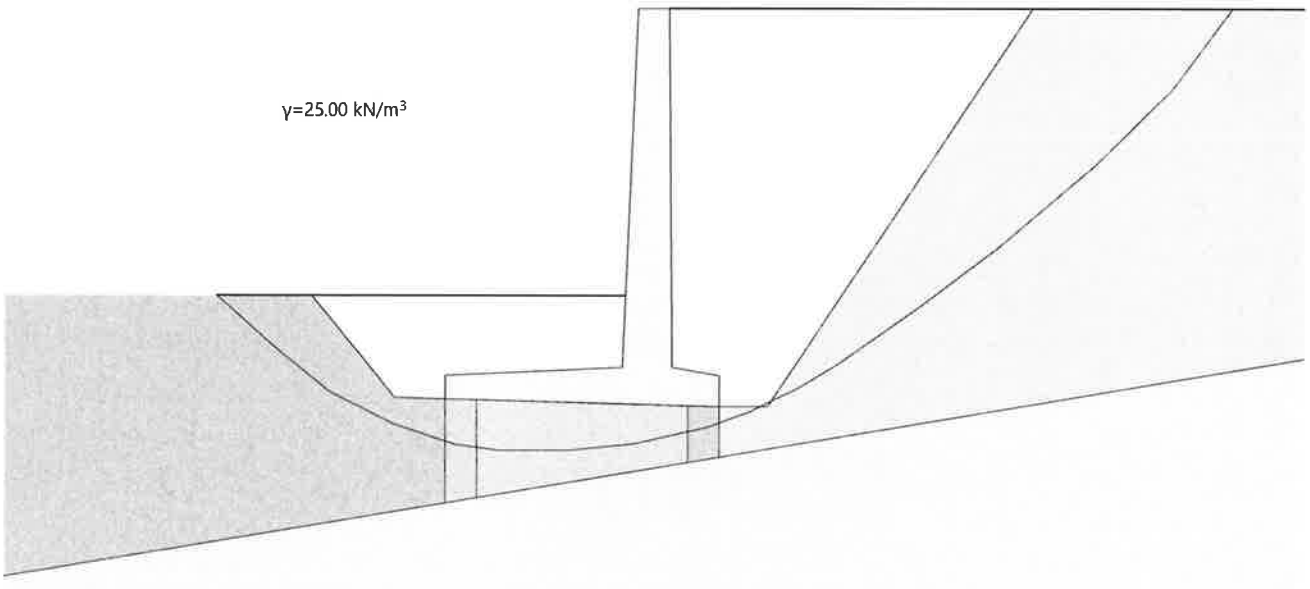
Baugrundmodell

Mstb. 1 :135.8 (-13.09,-8.63..9.96,2.76)



Gleitkreisdefinition: Polygone

Mstb. 1 :96.6 (-8.38,-7.95..8.02,2.81)



	Nr.:

Grenzwerte: Definition mit polygonalen Gleitlinien

Gleitlinien mit den kleinsten Sicherheiten

GWS	EWK	Polygon	Anker	F_{vorh} [-]	L_{erf} [m]	L_{min} [m]	Bemerkung siehe Fussnoten	
1	1	1		1.75				
2	1	1		2.36				

GWS : Grenzwertspezifikation
EWK : Einwirkungskombination
F_{vorh} : vorhandene Sicherheit, erforderliche Sicherheit $F_{erf} = 1.00$
L_{erf} : berechnete, erforderliche freie Ankerlänge im Bereich L_{min} - L_{max}
L_{min} : eingegebene, minimale freie Ankerlänge