

DB Netz AG
Regionalbereich Mitte
Großprojekte
(I.NG-MI-L)
Hahnstraße 49
60528 Frankfurt am Main

Statische Untersuchung und Modellierung der Baugrubenumschließung als Schlitzwand im Bereich offene Bauweise Machbarkeitsstudie

Knoten Frankfurt; Fernbahntunnel inkl. Station unterhalb des Hbf. Frankfurt/Main

Ersteller(in):	DB Netz AG / Ingenieurgemeinschaft Fernbahntunnel Frankfurt am Main
Verantwortliche(r):	Rainer Lehmann Großprojekte RB Mitte (I.NG-MI-L), DB Netz AG
Version:	0.1, 04.12.2020

Revisionsdokumentation

Version	Datum	Bearbeiter	Beschreibung
0.1	04.12.2020	Mesay Mammo / Nabil Youala	erste Ausgabe

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Vorbemerkungen	4
1.2	Verbau	5
1.3	Baustoffkennwerte	7
1.4	Unterlagen, Literatur und Programme	7
1.4.1	Technische Vorschriften	7
1.4.2	Literatur und Tabellenwerke	8
1.4.3	Allgemeine Programmbeschreibungen	8
1.4.4	Abweichungen von Regelwerken	8
1.4.5	Verwendete Unterlagen	8
2	Baugrund	9
2.1	Schichtung und Baugrundwerte	9
2.2	Charakteristischer Spitzendruck und Mantelreibung im Bereich der Einbindung	10
2.3	Ansatz der Bettung	10
3	Einwirkungen	11
3.1	Eigengewicht der Verbauten	11
3.2	Ständige Einwirkung auf GOK	11
3.3	Grundwasseransatz	11
3.4	Erddruckansatz	11
3.5	Erddruck aus Verkehrslasten	12
4	Berechnungsgrundlagen und das statische System	13
5	Berechnungsergebnisse	14
5.1	Schnitt A-A	14
5.1.1	Anker- und Erdauflagerkräfte	14
5.1.2	Bemessungsmoment und Bemessungsquerkraft	15
5.1.3	Einbindelänge	15
5.1.4	Abtragung der Vertikalkräfte in den Untergrund	15
5.1.5	Hydraulischer Grundbruch	15
5.1.6	Verformungen (Gebrauchstauglichkeit)	16
5.1.7	Bemessung der Einzelteile	16
6	Zusammenfassung	19

Anlage 1: geotechnische Nachweise

Anlage 2: Bemessung der Schlitzwand

Anlage 3: Bemessung der Steifen bei +99,5 mNN

Anlage 4: Bemessung der Steifen bei +92,0 mNN

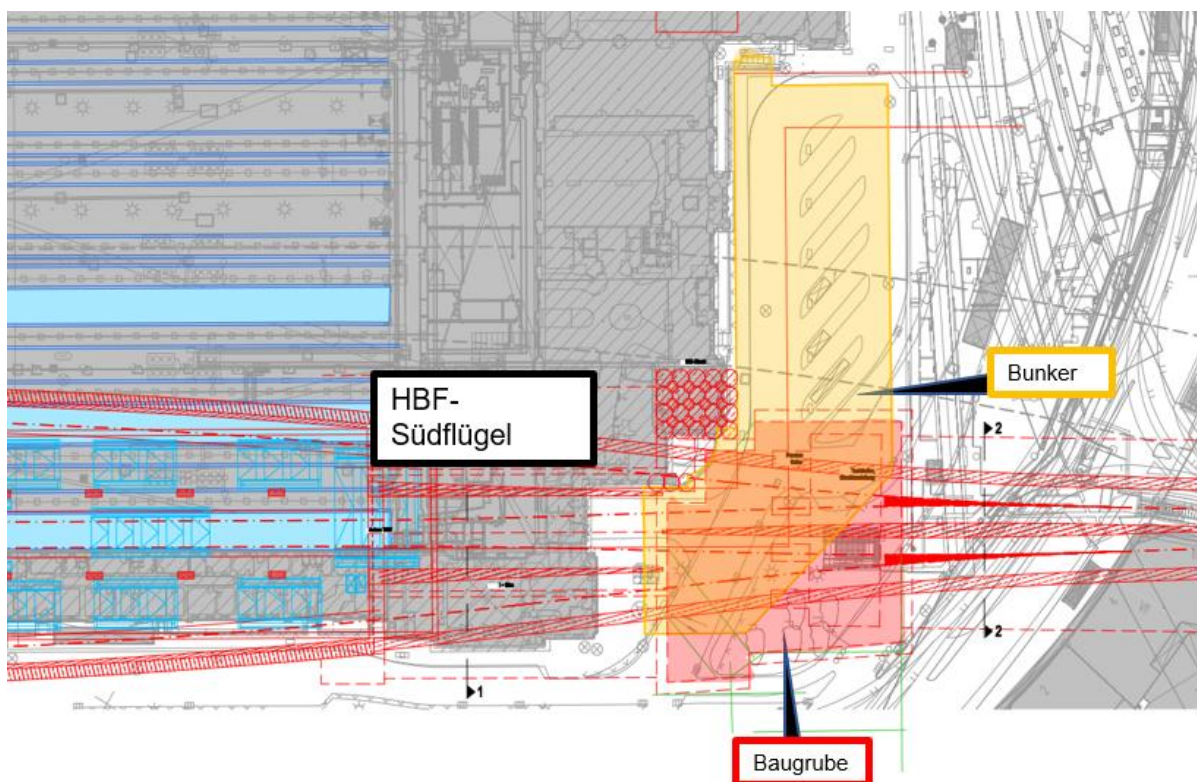
Anlage 5: Bemessung der Steifen bei +84,0 mNN

1 Einleitung

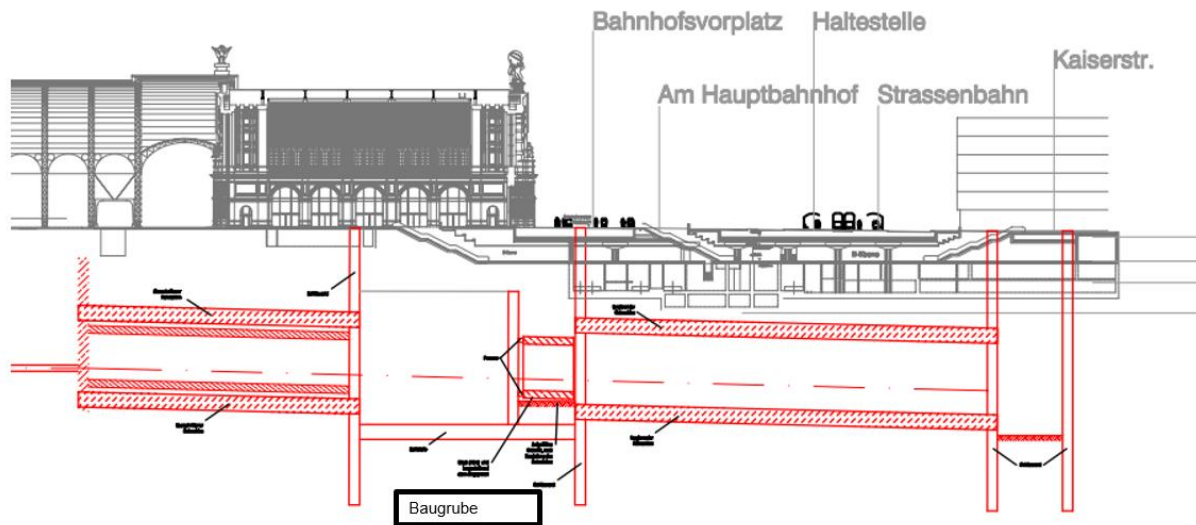
1.1 Vorbemerkungen

Die folgende Vorstatik befasst sich mit der Standsicherheitsuntersuchung der Baugrubenumschließung als Schlitzwand in den Abschnitten der offenen Bauweise. Stellvertretend für den Bereich offene Bauweise wird hier der Verbau der offenen Baugrube im Abschnitt Verzweigungsbauwerk vom Stationstyp A untersucht (vgl. folgende Abbildungen).

In die Vorstatik wird die Standsicherheit des Verbaus untersucht und eine Vordimensionierung der einzelnen Teile wie Schlitzwand und Steifen durchgeführt.



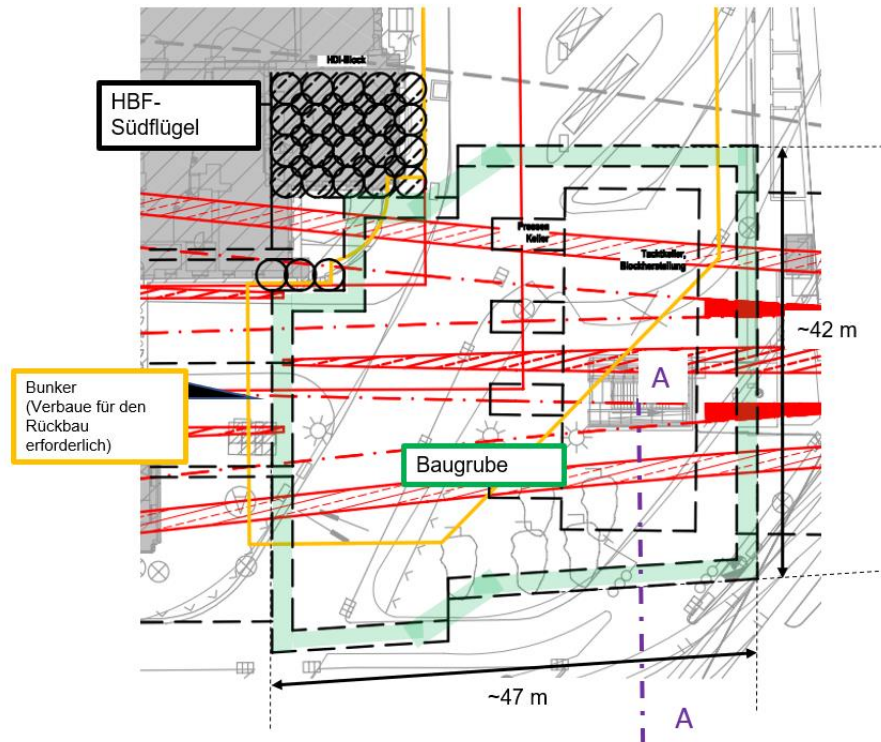
offene Bauweise, Grundriss, Ausschnitt aus Plan [Variante 4: S1-O-T1-1_SK_Y]



Längsschnitt, Ausschnitt aus Plan [Variante 4: S1-O-T1-1_SK_Y]

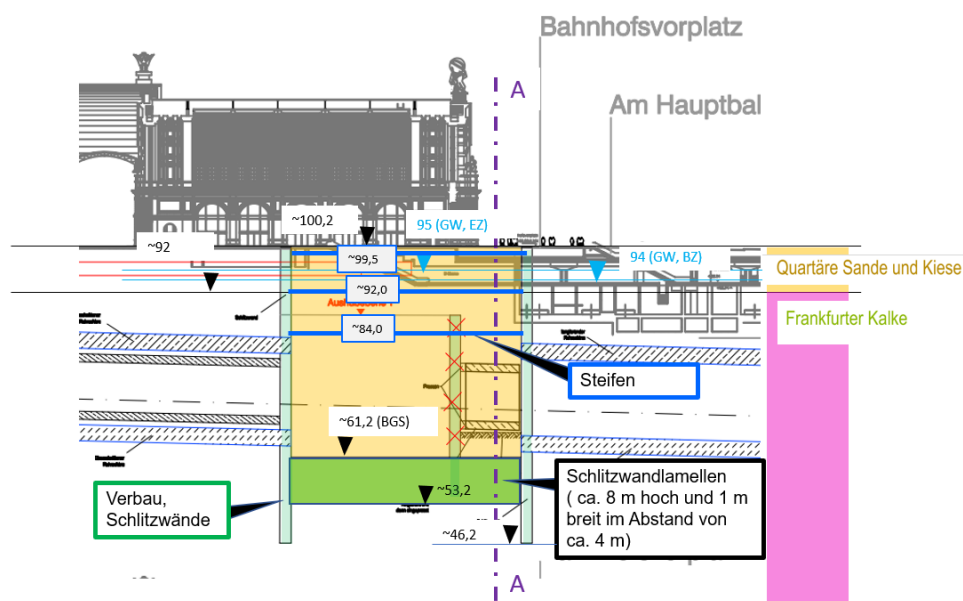
1.2 Verbau

- Die Baugrube ist ca. 39 m tief und hat eine Abmessung von ~47 m x ~42 m
- Im Bereich der Baugrube befindet sich ein Bunker. Der Bunker muss während der Baugrubenherstellung rückgebaut werden. Die erforderlichen Verbauten für den Rückbau werden hier nicht untersucht. Die Unterkante des Bunkers liegt bei ca. +91,8 mNN.
- Für die Standsicherheitsuntersuchung wird der Schnitt A-A gewählt (vgl. folgende Abbildung), da der Erddruck an dieser Wand am größten ist. Im Bereich der Tunnelröhre ist durch den Tunnelvortrieb einen geringeren Erddruck zu erwarten.



Baugrube, Schnitt A-A

Die Steifen müssen so angeordnet sein, dass sie den Tunnelvortrieb bzw. die Herstellung der Tunnelblöcke nicht beeinträchtigen (vgl. folgende Abbildung). Der Aushub wird für jeden Bauzustand bis zu ca. 1 m unterhalb der Steifen durchgeführt.



Anordnung der Steifen

Da der Frankfurter Ton sehr weich ist, ist der Nachweis des Erdauflager schwer zu erbringen. Aus diesem Grund ist schon vor der ersten Aushubphase Schlitzwandlamellen unterhalb der Baugrubensohle herzustellen. Die Schlitzwandlamellen werden mit einer Breite von 1 m und Höhe von 8 m in Abständen von ca. 4 m hergestellt. Die Oberkante der Schlitzwandlamellen entspricht der Baugrubensohle.

1.3 Baustoffkennwerte

Beton:

Bauteil	Gewählte Betonfestigkeitsklasse	Mindestbetondeckung
Schlitzwände / Schlitzwandlamellen	C30/37	$c_{nom} = 5,5 \text{ cm}$ (erdberührten)

Betonstahl: Für alle Bauteile: B 500 M

Steifen Rohrquerschnitt, Stahl, S355

1.4 _Unterlagen, Literatur und Programme

1.4.1 Technische Vorschriften

DIN EN 1990: 2010-12, Grundlagen der Tragwerksplanung

DIN EN 1991-2: 2010-12, Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 2

DIN EN 1991-2/NA: 2012-08, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter

DIN EN 1997-1: 2014-03, Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik

DIN EN 1997-1/NA: 2010-12, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter

DIN 4085: 2011-05, Baugrund – Berechnung des Erddrucks

DIN 4085: 2017-08, Baugrund – Berechnung des Erddrucks

DIN 1054:2010, Baugrund- Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau

1.4.2 Literatur und Tabellenwerke

- [1] EAB 2012 Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben, 5. Auflage
[2] EA-Pfähle Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“

1.4.3 Allgemeine Programmbeschreibungen

Walls-Retain, Version 2020	Verbau-Berechnungen, FIDES DV-Partner GmbH
Infocad V 19.10	FE-Berechnungen, InfoGraph GmbH
Frillo-Biegetorsionstheorie	Stabilitätsnachweis, Frillo-Software
Microsoft Word V. 2013	Allgemeines Textverarbeitungsprogramm
Microsoft Excel V. 2013	Allgemeines Tabellenkalkulationsprogramm

1.4.4 Abweichungen von Regelwerken

Für diese statische Berechnung werden weder Abweichungen noch ergänzende oder zusätzliche Regelungen zu den Vorschriften in Abschnitt 1.4 getroffen.

1.4.5 Verwendete Unterlagen

Zur Bearbeitung der Entwurfsstatik stehen folgende Unterlagen zur Verfügung

- [U1] Knoten Frankfurt, Fernbahntunnel inkl. Station unterhalb des HBF Frankfurt/Main, Machbarkeitsstudie, Bericht Nr. IK2024/01, Grundlagenermittlung: Beschreibung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse für den geplanten Fernbahntunnel, IK, KATZENBACH INGENIEURE, 08.06.2020.
- [U2] Knoten Frankfurt, Fernbahntunnel inkl. Station unterhalb des HBF Frankfurt/Main, Machbarkeitsstudie, Pläne, Bearbeitungszustand 11.2020, DB Netz AG / Ingenieurgemeinschaft Fernbahntunnel Frankfurt am Main.

2 Baugrund

2.1 Schichtung und Baugrundwerte

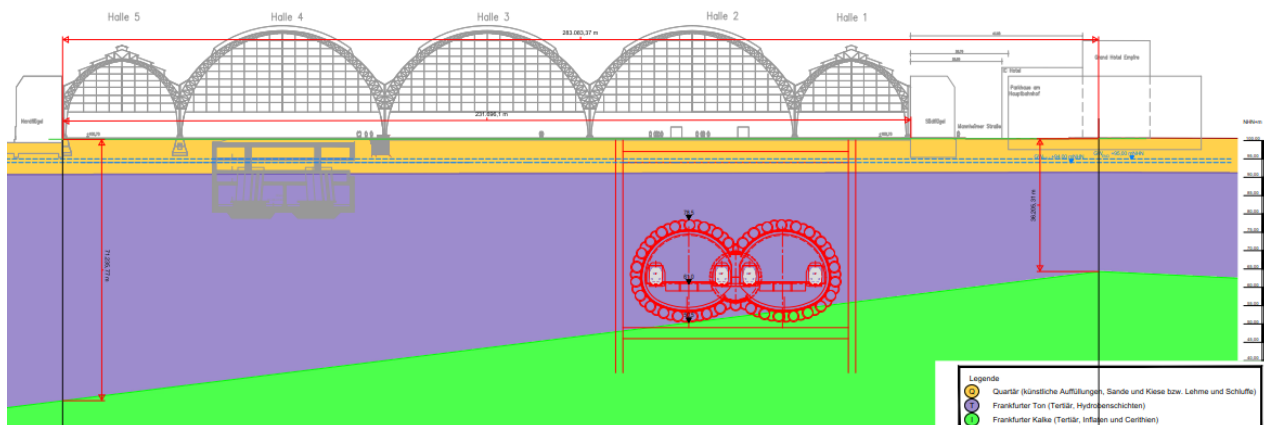
Der Schichtaufbau des Baugrundes sowie die Baugrundkennwerte werden gemäß [U1] angesetzt.

- Frankfurter Ton (Wechselagerung, Gebirgsparameter)			
Wichte des feuchten Bodens:	γ	=	18 - 19 kN/m ³
Wichte des Bodens unter Auftrieb:	γ'	=	8 - 9 kN/m ³
Endscherfestigkeit:			
• Reibungswinkel:	φ'	=	20°
• Kohäsion:	c'	=	20 kN/m ²
Anfangsscherfestigkeit:			
• Reibungswinkel:	φ_u	=	0°
• Kohäsion:	c_u	=	≥ 100 kN/m ² (vgl. Bild 4)
Steifemodul:			
• Erstbelastung:	$E_{s,E}$	=	$7 \cdot (1 + 0,35 \cdot z)$ [MN/m ²] (z in m ab OK Tertiär)
• Wiederbelastung:	$E_{s,W}$	=	$3 \cdot E_{s,E}$

Charakteristische Bodenkennwerte, Frankfurter Ton [U1]

In dem geotechnischen Bericht sind für die Quartäre Sande und Kiese keine Kennwerte vorgegeben. Ein Reibungswinkel von $\varphi=30^\circ$ ohne Kohäsion wird angenommen.

Der Aufbau des Baugrunds wird nach [U1] wie folgt angenommen.



Baugrundaufbau [U1]

2.2 Charakteristischer Spitzendruck und Mantelreibung im Bereich der Einbindung

Im [U1] sind keine Angaben bezüglich dem Spitzenwiderstand und der Mantelreibung zu finden. Für die Standsicherheitsuntersuchung wird nach EA-Pfähle einen Spitzenwiderstand von 1500 kN/m^2 und eine Mantelreibung von 50 kN/m^2 mit der Annahme einer undrained Scherfestigkeit $c_{u,k} \approx 150 \text{ kN/m}^2$ angenommen.

2.3 Ansatz der Bettung

Im [U1] ist keine Angaben zum Ansatz der Bettung zu finden.

Nach [1] gilt für Ortbetonwände und Spundwände näherungsweise der Ansatz

$$K_{sh,k} = E_{sh,k} / t_B$$

$E_{sh,k}$ (horizontaler Steifemodul): 0,5 bis 1,0 $E_{sv,k}$ und t_B (Einbindelänge)

Für die Ermittlung der Bettung wird eine Einbindelänge $t_B = 10 \text{ m}$ und $E_{sh,k} = E_{sv,k}$ berücksichtigt.
Der Ansatz der Bettung ist in der Entwurfsplanung mit dem Bodengutachter abzustimmen.

3 Einwirkungen

3.1 Eigengewicht der Verbauten

Das Eigengewicht des Verbaus wird vom Programm intern ermittelt.

3.2 Ständige Einwirkung auf GOK

Eine großflächige ständige Gleichlast $p_k = 10 \text{ kN/m}^2$ (beginnend an der Hinterkante der Wand) wird auf der Geländeoberfläche berücksichtigt.

3.3 Grundwasseransatz

Gemäß Baugrundgutachten [U1] ist den Grundwasserstand wie folgt zu berücksichtigen.

Für den Entwurf der geplanten, 4-gleisigen unterirdischen Station im Hauptbahnhof haben wir den Bemessungsgrundwasserstand wie folgt spezifiziert:

- Bemessungsgrundwasserstand Baugrube (bauzeitlich): $\text{GW}_{\text{Bau}} = 94,0 \text{ mNN}$
- Bemessungsgrundwasserstand Bauwerk (Betrieb Bauwerk): $\text{GW}_{\text{End}} = 95,0 \text{ mNN}$

Grundwasser [U1]

Für den Verbau wird eine Einbindelänge von ca. 15,0 m unterhalb der Baugrubensohle vorgesehen, damit die Sickerweg verlängert und der Wasserstandstand neben der Baugrube nicht beeinträchtigt wird.

3.4 Erddruckansatz

Für die Bemessung der Wände wird erhöhter Erddruck (mit 75% Erdruhedruckanteil) angesetzt (nach [1] EB 22, Absatz 2).

Der Erddruck wird nach DIN 4085:2011 berechnet.

3.5 Erddruck aus Verkehrslasten

Verkehrslasten:

vereinfacht wird LM1 auf Hinterfüllung berücksichtigt:

$$p_v = 2 \times 300 \text{ kN} / (3 \text{ m} \times 5 \text{ m}) + 12 \text{ kN/m}^2 = 52 \text{ kN/m}^2$$

4 Berechnungsgrundlagen und das statische System

Der Verbau wird mit dem Verbau-Programm von FIDES DV-Partner GmbH bemessen. Für die Bemessung der Steifen wird das Programm Frillo-Biegetorsionstheorie verwendet.

Erforderliche zwischen Bauzustände werden in der statischen Berechnung berücksichtigt. Die Berechnungsgrundlagen für die statische Berechnungen werden wie folgt zusammengefasst.

Oberkante der Schlitzwand:	ca. +100,2 mNN (Höhe entspricht der Geländeoberfläche)
Baugrubensohle (BGS):	ca. +61,2 mNN
Wasserstand (GW):	+94,0 mNN (bauzeitlicher Wasserstand)
Art der Sicherung / Stützung:	Steifen (S) und Schlitzwandlamellen (SL)
Lage der Sicherung / Stützung:	+99,5 mNN (S) / +92,0 mNN (S) / +84,0 mNN (S) / 1 m breit (SL) von +61,2 mNN bis +53,2 mNN im Abstand von ca. 4 m
betrachtete Einwirkungen:	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhte aktiver Erddruck mit 75 % Erdrückdruckanteil - ständige Einwirkungen auf GOF = 10 kN/m² - Grundwasser - Verkehrslasten = 52 kN/m² (auf 3 m breite)

5 Berechnungsergebnisse

Die geotechnische Bemessung wurde mit dem Programm Fides-WALLS durchgeführt.

5.1 Schnitt A-A

In den Anlagen 1 und 2 sind die ausführlichen Bemessungsergebnisse dargestellt.

5.1.1 Anker- und Erdauflagerkräfte

Die Federsteifigkeit der Steifen wurde in der Berechnung berücksichtigt. Die Schlitzwandlamelle unterhalb der Tunnelsohle wird als Bodenschicht modelliert.

Ausgehend von einer Betongüte von C30/37 wird einer äquivalente Reibungswinkel und Kohäsion wie folgt ermittelt:

Vorhandene Druckfestigkeit je m Länge = f_{cd} / Abstand der Lamellen

$$= 17 \text{ MN/m}^2 / 4 \text{ m} = 4,25 \text{ MN/m}^2 / \text{m}$$

$\sigma = 2c \cos \varphi / (1 - \sin \varphi)$ (einaxialer Druckfestigkeit)

Mit der Annahme von $\varphi = 20^\circ$ wird $c = 1500 \text{ kN/m}^2$

Die horizontale Bettung der Schlitzwandlamelle wird wie folgt berücksichtigt.

horizontale Bettung der Betonlamelle	
Kraft (F)	1,00 kN
Fläche	1 m ²
E-Modul, Beton (E)	33000000 kN/m ²
Spannung ($\sigma = F/A$)	1,000000 kN/m ³
dehnung ($\epsilon = \sigma/E$)	0,00000003 [-]
effektive Länge der Lamelle, L	50,0 m
$\Delta L = \epsilon L$	0,0000015152 m
horizontale Bettung = $\sigma/\Delta L$	660 MN/m ³

Die berechnete charakteristische Steifenkräfte können aus der folgenden Tabelle entnommen werden (vgl. Anlage 1).

Lage der Steifen (m NN)	Steifenkräfte (kN/m)
+99,5	980
+92,0	2550
+84,0	6100

Charakteristische Steifenkräfte

Durch die vorgesehene Schlitzwandlamelle unterhalb der Baugrubensohle (vgl. Abschnitt 1.2) wird der Nachweis der Erdauflagerkräfte erbracht.

5.1.2 Bemessungsmoment und Bemessungsquerkraft

Das Bemessungsmoment und die Bemessungsquerkraft der Schlitzwand wurde vom Programm Fides, WALLS-Verbau ermittelt (vgl. Anlage 1).

5.1.3 Einbindelänge

Eine Einbindelänge von ca. 15,0 m unterhalb der Tunnelsohle ist vorgesehen, um den Sickerweg zu verlängern und den Grundwasserstand neben der Baugrube nicht zu beeinträchtigen.

5.1.4 Abtragung der Vertikalkräfte in den Untergrund

Der Nachweis der Vertikalkräfte wurde vom Programm Fides, WALLS-Verbau ermittelt (vgl. Anlage 1). Der Nachweis wird für alle Bauzustände erbracht.

5.1.5 Hydraulischer Grundbruch

Hydraulischer Grundbruch wird wegen des längeren Sickerwegs nicht maßgebend. Ein vereinfachter Nachweis des hydraulischen Grundbruchs wird mit dem Programm Fides, WALLS-Verbau durchgeführt. Der Nachweis wird für alle maßgebende Bauzustände erbracht (siehe Anlage 1).

5.1.6 Verformungen (Gebrauchstauglichkeit)

Die zu erwartenden maximalen Verformungen können von der folgenden Tabelle entnommen werden.

	Verformung [cm]
Verformung am Kopf	6,0
Maximale Verformung, andere Bereiche	4,5

Die Verformung der Schlitzwand am Kopf entsteht schon im ersten Bauzustand vor dem Einbau der ersten Steifenlage und kann durch abschnittsweise Aushube und Herstellung der Steifen deutlich reduziert werden.

5.1.7 Bemessung der Einzelteile

Schlitzwand:

Die ausführliche Bemessung der Schlitzwand ist aus der Anlage 2 zu entnehmen. Die erforderliche Bewehrungen können von der folgenden Tabelle entnommen werden.

Bemessung der Schlitzwand:

Randabstand = 15 cm; Beton C 30/37, Stahl B500M

Erforderliche Bewehrung	Wanddicke = 2,4 m (vgl. Anlage 2)
	[cm ² /m bzw. cm ² /m ²]
as1 (Luftseite)	~155
as 2 (Erdeseite)	~190
asw	~35

Steifen:

Der Nachweis der Steifen wurde mit dem Programm Frillo-Biegetorsionstheorie durchgeführt. Mit dem Programm wird der Nachweis des Querschnitts und der Stabilität geprüft.

Die ermittelte Steifenkräfte sind sehr groß und liegen im Bereich von 980 bis zu 6100 kN/m (vgl. Abschnitt 5.1.1). Mit Berücksichtigung einer ungestützten Steifenlänge von 25 m werden die erforderliche Steifenquerschnitte wie folgt ermittelt.

Steifen bei +99,5 mNN:

Steifenkraft = 980 kN/m

Gewählter Steifenabstand= 5 m

Gesamtlast je Steife = 980 kN/m * 5 m = 4900 kN

Moment aus Ausmittigkeit der Krafteinleitung (nach [1] EB 52, A. 4)

$$= 4900 \text{ kN} * 0,7 \text{ m} / 6 = 575 \text{ kNm}$$

Der Nachweis wird mit einem Stahlrohrquerschnitt Ø700 mm, Wandstärke=50 mm und Stahlgüte S355 erbracht (vgl. Anlage 3).

Steifen bei +92,0 mNN:

Steifenkraft = 2550 kN/m

Gewählter Steifenabstand= 5 m

Gesamtlast je Steife = 2550 kN/m * 5 m = 12750 kN

Moment aus Ausmittigkeit der Krafteinleitung (nach [1] EB 52, A. 4)

$$= 12750 \text{ kN} * 0,9 \text{ m} / 6 = 1915 \text{ kNm}$$

Der Nachweis wird mit einem Stahlrohrquerschnitt Ø900 mm, Wandstärke=60 mm und Stahlgüte S355 erbracht (vgl. Anlage 4).

Steifen bei +84 mNN:

Steifenkraft = 6100 kN/m

Gewählter Steifenabstand= 5 m

Gesamtlast je Steife = 6100 kN/m * 5 m = 30500 kN

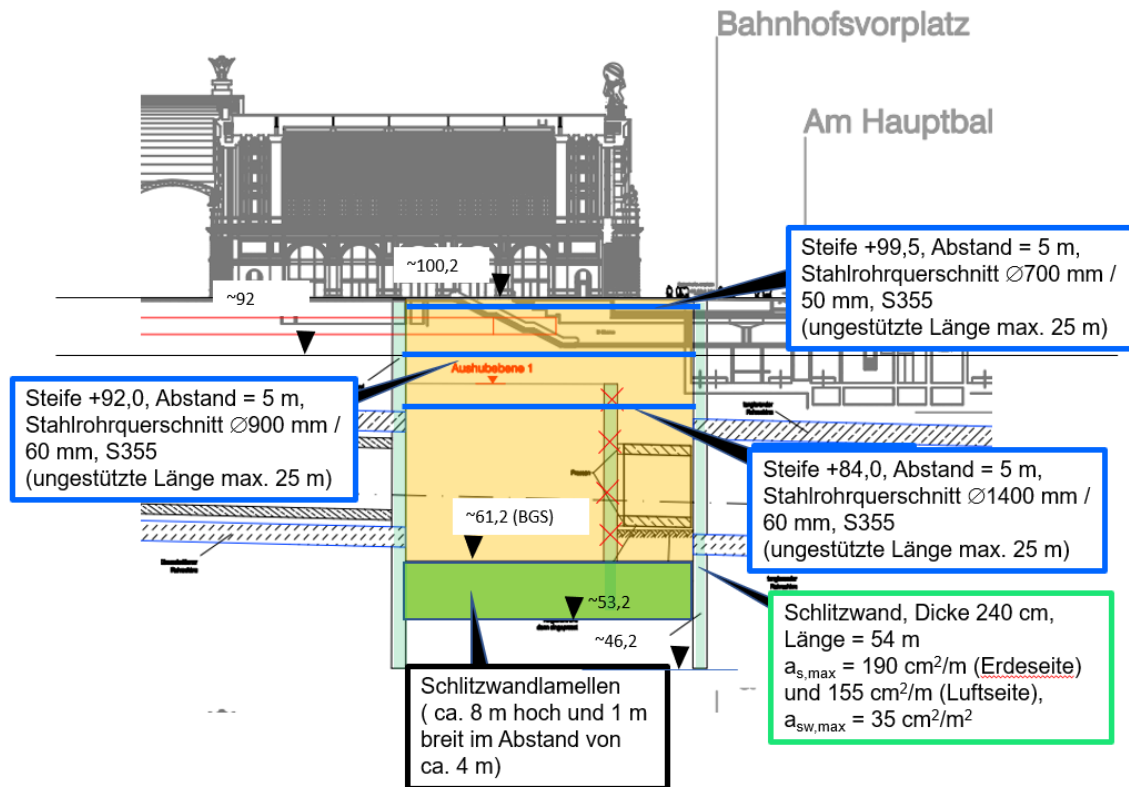
Moment aus Ausmittigkeit der Krafteinleitung (nach [1] EB 52, A. 4)

$$= 30500 \text{ kN} * 1,4 \text{ m} / 6 = 7120 \text{ kNm}$$

Der Nachweis wird mit einem Stahlrohrquerschnitt $\varnothing 1400 \text{ mm}$, Wandstärke=60 mm und Stahlgüte S355 erbracht (vgl. Anlage 5).

6 Zusammenfassung

Schnitt A-A



Zusammenstellung der Ergebnisse

Schlitzwand:

Dicke:	240 cm
Länge	~54 m
Einbindelänge:	~15 m von der Baugrubensohle
UK Schlitzwand	~+46,2 m NN
Max. erforderliche Biegebewehrung Erdeseite	ca. $190 \text{ cm}^2/\text{m}$
Max. erforderliche Biegebewehrung Luftseite	ca. $155 \text{ cm}^2/\text{m}$
Max. erforderliche Schubbewehrung	ca. $35 \text{ cm}^2/\text{m}^2$

Steifen:

Steifen bei +99,5 mNN:

Material	Stahl, S355
Querschnitt	Rohrquerschnitt Ø700 mm, Wandstärke=50 mm
Abstand zwischen Steifen:	ca. 5 m (in horizontaler Richtung)

Steifen bei +99,5 mNN:

Material	Stahl, S355
Querschnitt	Rohrquerschnitt Ø900 mm, Wandstärke=60 mm
Abstand zwischen Steifen:	ca. 5 m (in horizontaler Richtung)

Steifen bei +99,5 mNN:

Material	Stahl, S355
Querschnitt	Rohrquerschnitt Ø1400 mm, Wandstärke=60 mm
Abstand zwischen Steifen:	ca. 5 m (in horizontaler Richtung)

Schlitzwandlamellen:

Material	Beton, C30/37
Abmessung	1,0 (breit) x 8,0 m (hoch)
Abstand zwischen den Lamellen:	ca. 4 m (in horizontaler Richtung)

Die Berechnungen zeigen, dass die Herstellung der Baugrube durch Ergreifen von einigen Maßnahmen möglich ist. Schlitzwandlamellen mit einer Abmessung von 8 m hoch 1 m breit sind in Abständen von 4 m als Aussteifungen unter der Baugrubensohle vorzusehen. Zusätzlich sind die Steifenkräfte sehr hoch und dementsprechend sind große Steifenquerschnitte erforderlich.

Frankfurt am Main den 04.12.2020

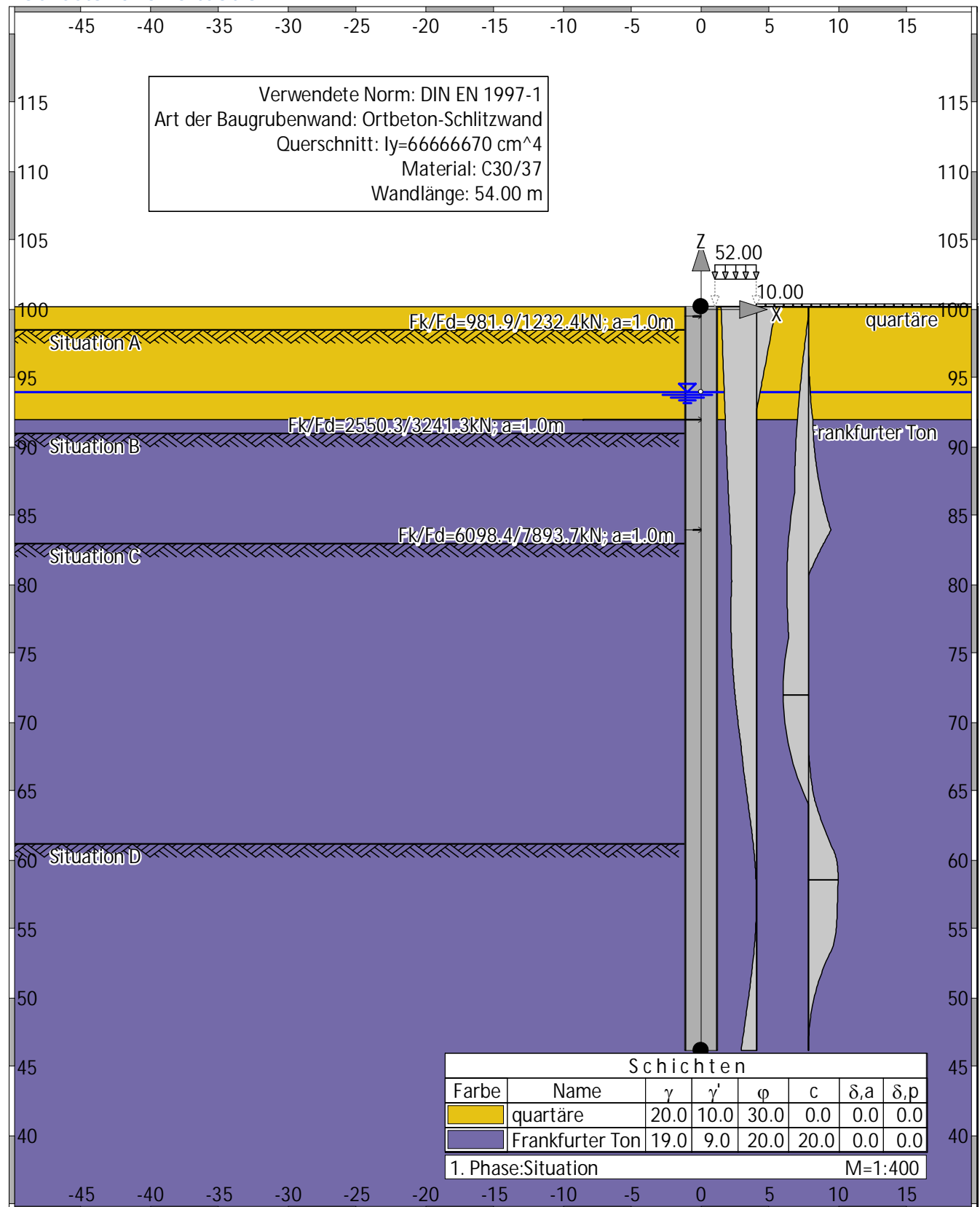
aufgestellt: Mesay Tsegaye, Mammo (M.Sc.)

gesehen: Nabil Youala (Dipl. -Ing.)

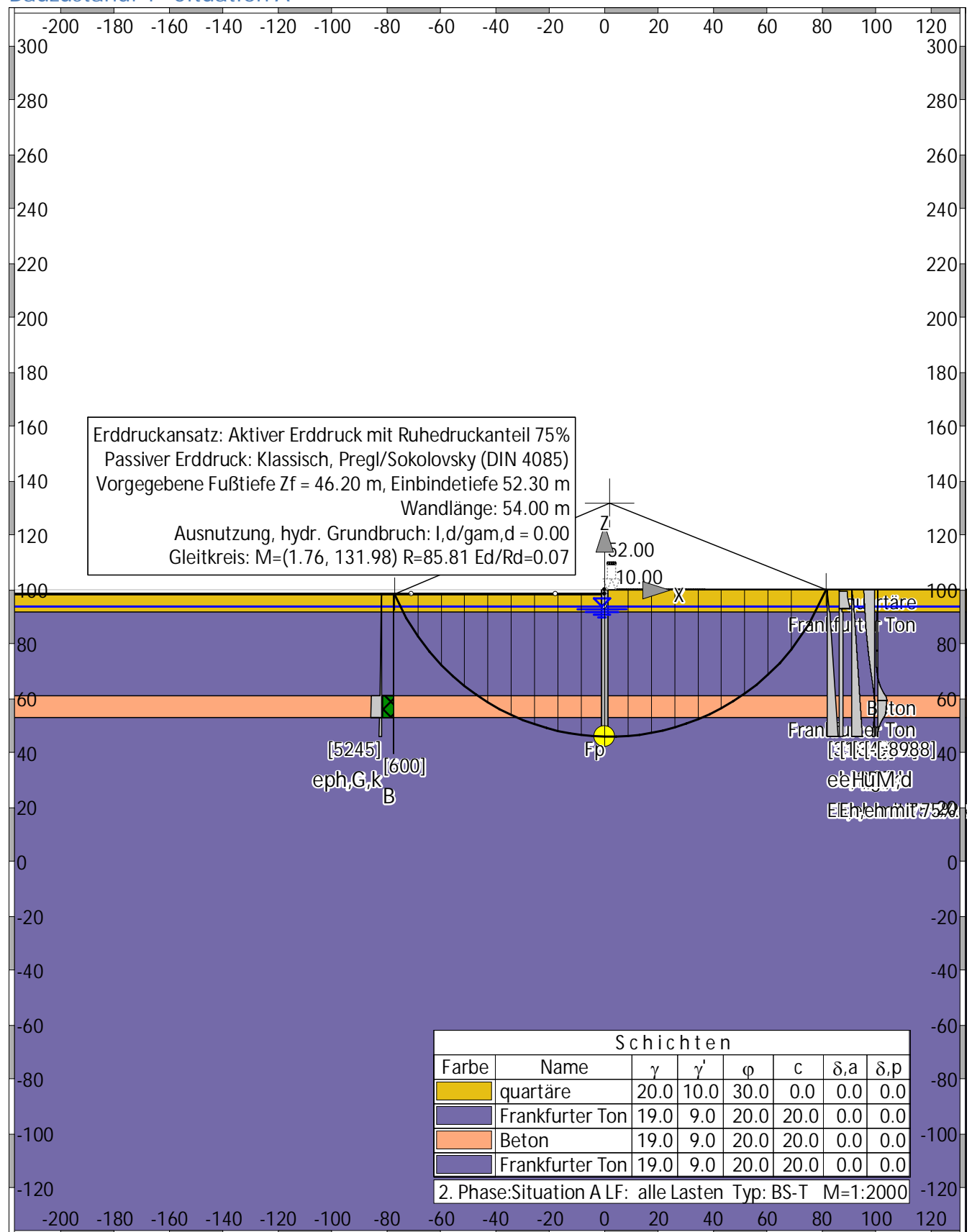
Anlage 1: geotechnische Nachweise

Übersicht der Bauphasen

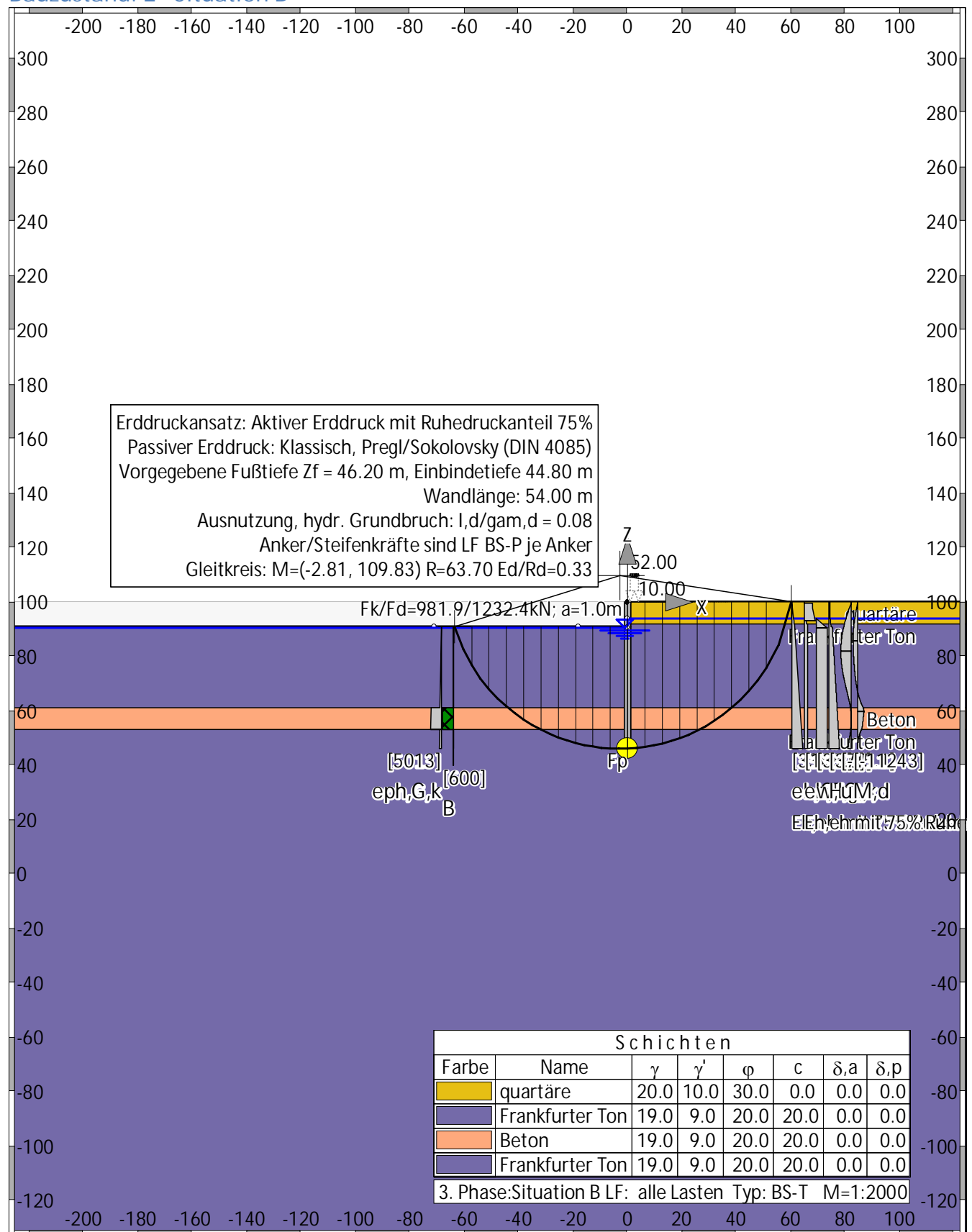
Bauzustand: 0 "Situation"



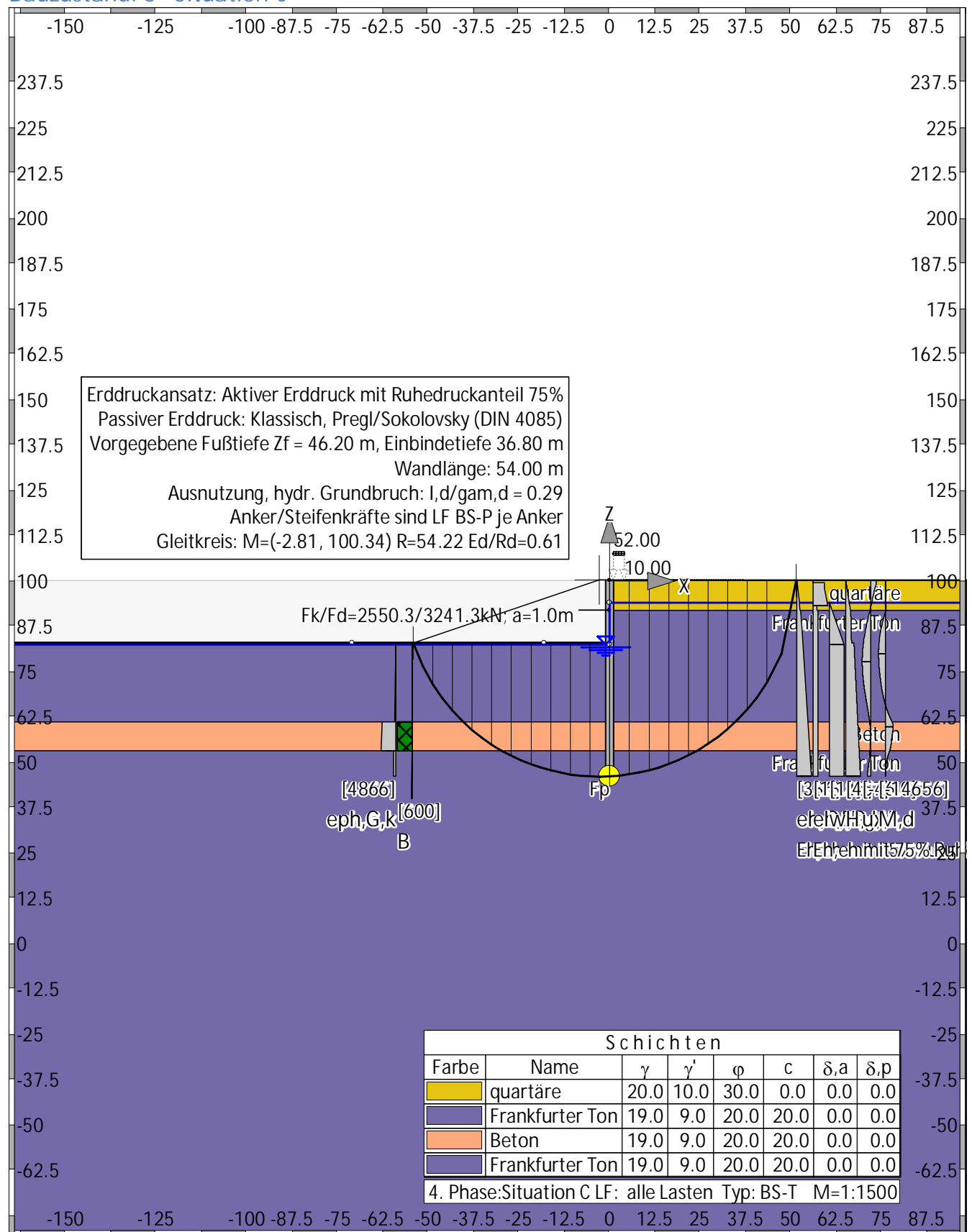
Bauzustand: 1 "Situation A"



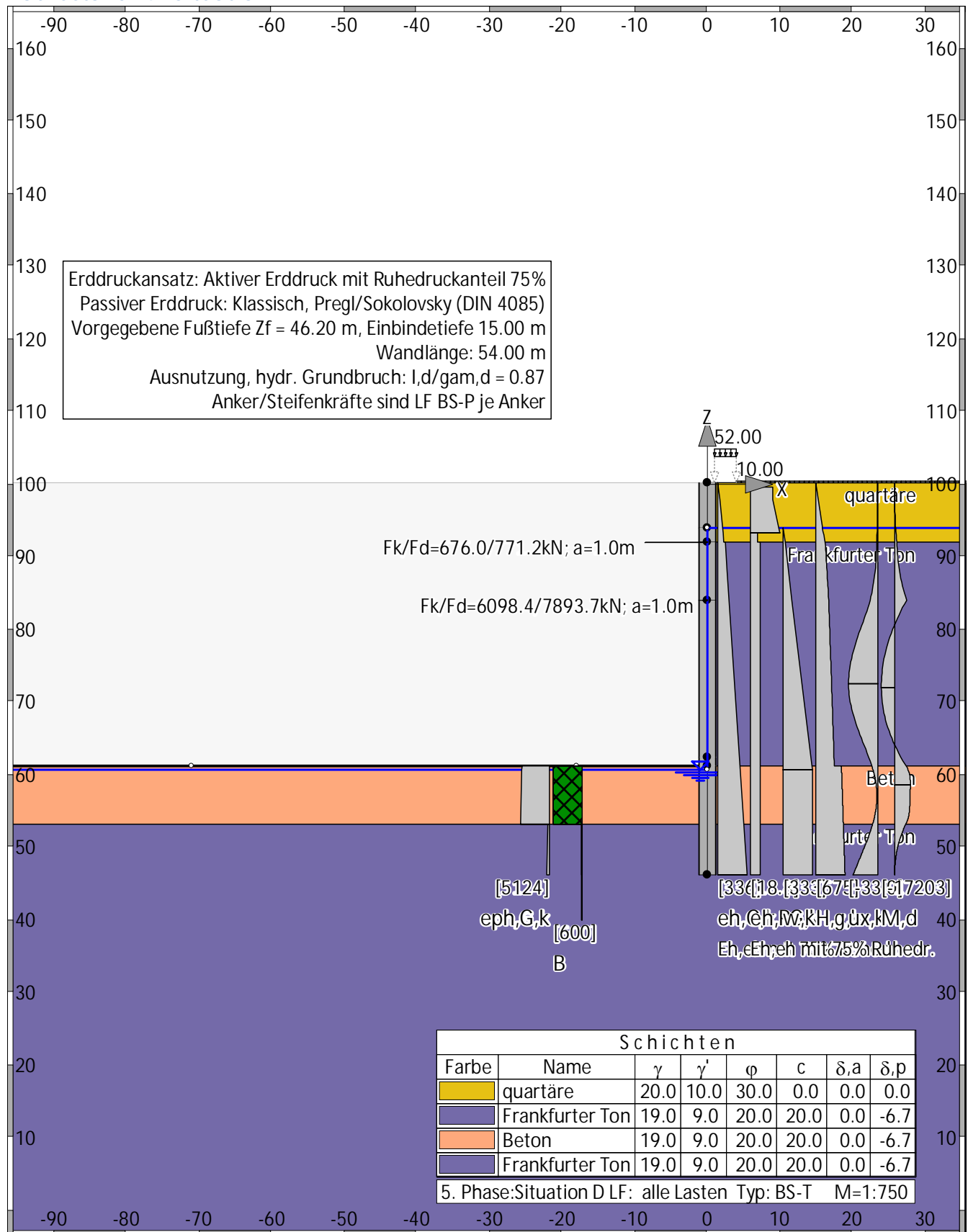
Bauzustand: 2 "Situation B"



Bauzustand: 3 "Situation C"



Bauzustand: 4 "Situation D"



Normen

Stahl betonbemessung : DIN EN 1992-1-1
 Geotechnische Nachweise : DIN EN 1997 (rev. 14)
 Nationales Anwendungsdokument: DIN EN 1997-1

Sicherheitsbeiwerte:

Erddruck auf die Wand: [GEO] A1+M1+R2

γ -	G, dst	EOG	G, stb	Q, dst	Q, stb	phi	coe	cu	g
BS-P	1.350	1.200	1	1.500	0	1	1	1	1
BS-T	1.200	1.100	1	1.300	0	1	1	1	1

KE-Mechanismus: [GEO] A2+M2+R3

γ -	G, dst g	G, stb a, t	W a, p	Q, dst Gt	Q, stb N	phi Stbl	coe	cu
BS-P	1	1	1	1.300	0	1.250	1.250	1.250
	1	1.100	1.100	1.400	1.400	1		
BS-T	1	1	1	1.200	0	1.150	1.150	1.150
	1	1.100	1.100	1.300	1.300	1		

Schnittgrößen: [GEO] A1+M1+R2

γ -	G, dst cu	EOG g	W Re	G, stb P	Q, dst	Q, stb	phi	coe
BS-P	1.350	1.200	1.350	1	1.500	0	1	1
	1	1	1.400	1.400				
BS-T	1.200	1.100	1.200	1	1.300	0	1	1
	1	1	1.300	1.400				

Gleiten: [GEO] A1+M1+R2

γ -	G, dst cu	EOG g	W Rh	G, stb	Q, dst	Q, stb	phi	coe
BS-P	1.350	1.200	1.350	1	1.500	0	1	1
	1	1	1.100					
BS-T	1.200	1.100	1.200	1	1.300	0	1	1
	1	1	1.100					

Grundbruch: [GEO] A1+M1+R2

γ -	G, dst cu	EOG g	W Rv	G, stb	Q, dst	Q, stb	phi	coe
BS-P	1.350	1.200	1.350	1	1.500	0	1	1
	1	1	1.400					
BS-T	1.200	1.100	1.200	1	1.300	0	1	1
	1	1	1.300					

Gleitkreis: [GEO] A2+M2+R3

γ -	G, dst g	G, stb Re	Q, dst a, t	Q, stb a, p	W Gt	phi N	coe Stbl	cu
BS-P	1	1	1.300	0	1	1.250	1.250	1.250
	1	1	1.100	1.100	1.400	1.400	1	
BS-T	1	1	1.200	0	1	1.150	1.150	1.150
	1	1	1.100	1.100	1.300	1.300	1	

Hydraulischer Grundbruch: [HYD] A1+M1+R1

γ -	G, dst	G, stb	Q, dst	H
BS-P	1.050	0.950	1.500	1.900
BS-T	1.050	0.950	1.300	1.900

Versagen von Bauteilen: [STR] A1+M1+R2

γ -	M	G _{tf}	cd	N
BS-P	1.150	1.400	1.400	1.150
BS-T	1.150	1.300	1.300	1.150

Stabilität: [EQU] A1+M1+R1

γ -	G _{dst}	G _{stb}	Q _{dst}	Q _{stb}	phi	coe	cu	g
BS-P	1.100	0.900	1.500	0	1	1	1	1
BS-T	1.050	0.900	1.250	0	1	1	1	1

γ , Re, red (EAB EB14-3): Ja, $\eta=0.80$

γ , Re, red (EAB EB22-6): Ja, $E_{0h} > 0\%$: $\eta = 0.60 / 0.80$

Systemwerte

Wand

Art der Baugrubenwand: Ortbeton-Schlitzwand

Querschnitt: $I_y=66666670 \text{ cm}^4$

Material: C30/37

Eiengewicht: 25.000 [kN/m³]

Wandverlauf

z [m]	d [cm]	E [MN/m ²]	I_y [cm ⁴ /m]	$E \cdot I_y$ [MNm ²]	A [cm ² /m]
100.20	240.0	32850.0	66666670	21900.0	20000
46.20	240.0	32850.0	66666670	21900.0	20000

Bauzustand: 1 "[1] Situation A"

LF: alle Lasten Typ: BS-T

[GEO] A1+M1+R2, BS-T

γ, G_{dst}	γ, EOG	γ, W	γ, G_{stb}	γ, Q_{dst}	γ, Q_{stb}	γ, ϕ	γ, coe	γ, cu
γ, g	γ, Rv	γ, Rh	γ, Re	γ, a_t	γ, a_p	γ, N	γ, Gt	γ, P
γ, Gap	$\gamma, Tilt$	$\gamma, Stbl$						
1.200	1.100	1.200	1.000	1.300	0.000	1.000	1.000	1.000
1.000	1.300	1.100	1.300	1.100	1.100	1.300	1.300	1.400
1.000	1.000	1.000						

Schichtsystem mit 4 Schichten

Name		quartäre Frankfurter Ton	Beton	Frankfurter Ton
γ	[kN/m ³]	20	19	19
γ, R	[kN/m ³]	20	19	19
γ'	[kN/m ³]	10	9	9
γ, p	[kN/m ³]	20	19	24
$\gamma, R, passi v$	[kN/m ³]	20	19	24
γ, pw	[kN/m ³]	10	9	14
ϕ	[°]	30	20	20
c	[kN/m ²]	0	20	20
c, u	[kN/m ²]	10	100	0
$c, passi v$	[kN/m ²]	0	20	1480
δ, a	[°]	0	0	0
δ, p	[°]	0	0	0
δ, c	[°]	10	6.666667	0
τ, gr	[kN/m ²]	110	110	110
Ψ, A, max	[°]	90	90	90
k	[cm/s]	10e-06	10e-06	10e-06

Geländeverlauf:

x [m] 0.00 0.00
z [m] 98.50 100.20

Verlauf Oberkante der 2. Schicht Frankfurter Ton:
Kote z= 92.00

Verlauf Oberkante der 3. Schicht Beton:
Kote z= 61.20

Verlauf Oberkante der 4. Schicht Frankfurter Ton:
Kote z= 53.20

Streifenlasten:

Lasten

xA	zA	xE	zE	PxA	PzA	PxE	PzE	Art	LF-Bezeichnung
[m]	[m]	[m]	[m]	[kN/m ²]		Name
4.00	100.20	9999.99	100.20	0.00	10.00	0.00	10.00	g	1
1.00	100.20	4.00	100.20	0.00	52.00	0.00	52.00	g	1

Erddruckverteilung

Erddruckverteilung	Name
Schichtweise Rechteckig	
Schichtweise Rechteckig	

Verlauf des Grundwasserspiegels:

x [m] 0.00

z [m] 94.00

Berechnungsparameter

Erddruck Optionen

Erddruckansatz: Aktiver Erddruck mit Ruhedruckanteil 75% nach DIN 4085: 2011.

Gleitflächenwinkel : DIN 4085.

Abschnitte zur Unterteilung von Blocklasten: 1.

Erdruchdruck für Blocklasten nach Weissenbach, Konzentrationsfaktor $n=4$.

Erdruchdruck für Linienlasten: klassisch, dreiecksförmig.

Berücksichtigung des Mindesterdruks: $\varphi_{\min} = 30.000$.

Negative Erddruckanteile werden zu Null gesetzt.

Erddruckumlagerung

Umlagerungsfigur: Keine Umlagerung des Erddrucks.

Der Erddruck wird umgelagert bis: Aushubsohle

Der Erddruck unter der Aushubkote wirkt ohne Umlagerung.

Der Erddruck aus veränderlichen Lasten wird mit $\gamma_{\text{ver}} = 1,3$ umgelagert.

Passiver Erddruck

Berechnungsmethode: Klassisch, Pregl / Sokolovsky (DIN 4085).

Wasserdruckoptionen

Fußauflagerung

Fuß horizontal verschieblich

Wandfuß wird gebettet gelagert.

Adaption der Bettungsspannungen auf Eph / 1.000.

Erddruckbeiwerte kh

φ	α	β	δ	k0gh	kagh	kach	kpgh	kpch	
30.0	0.0	0.0	0.0	0.500	0.333	--	3.000	--	quartäre
20.0	0.0	0.0	0.0	0.658	0.490	1.400	2.040	-2.856	Frankfurter Ton
20.0	0.0	0.0	0.0	0.658	0.490	1.400	2.040	-2.856	Beton
20.0	0.0	0.0	0.0	0.658	0.490	1.400	2.040	-2.856	Frankfurter Ton

Wandlänge

Fußtiefe für Statik: $z_f = 46.200$

Statik

Erddruck, horizontal

Drücke charakteristisch, ohne Umlagerung, durchgehende Wand

100.2094.0088.1761.2053.2046.20

z

-330

-5017.1

-5245.5

-1203.8

eph,G+PG,k

83.1

102.9

335.6

eah,G,k

14.2

18.8

6.16

eah,PG,k

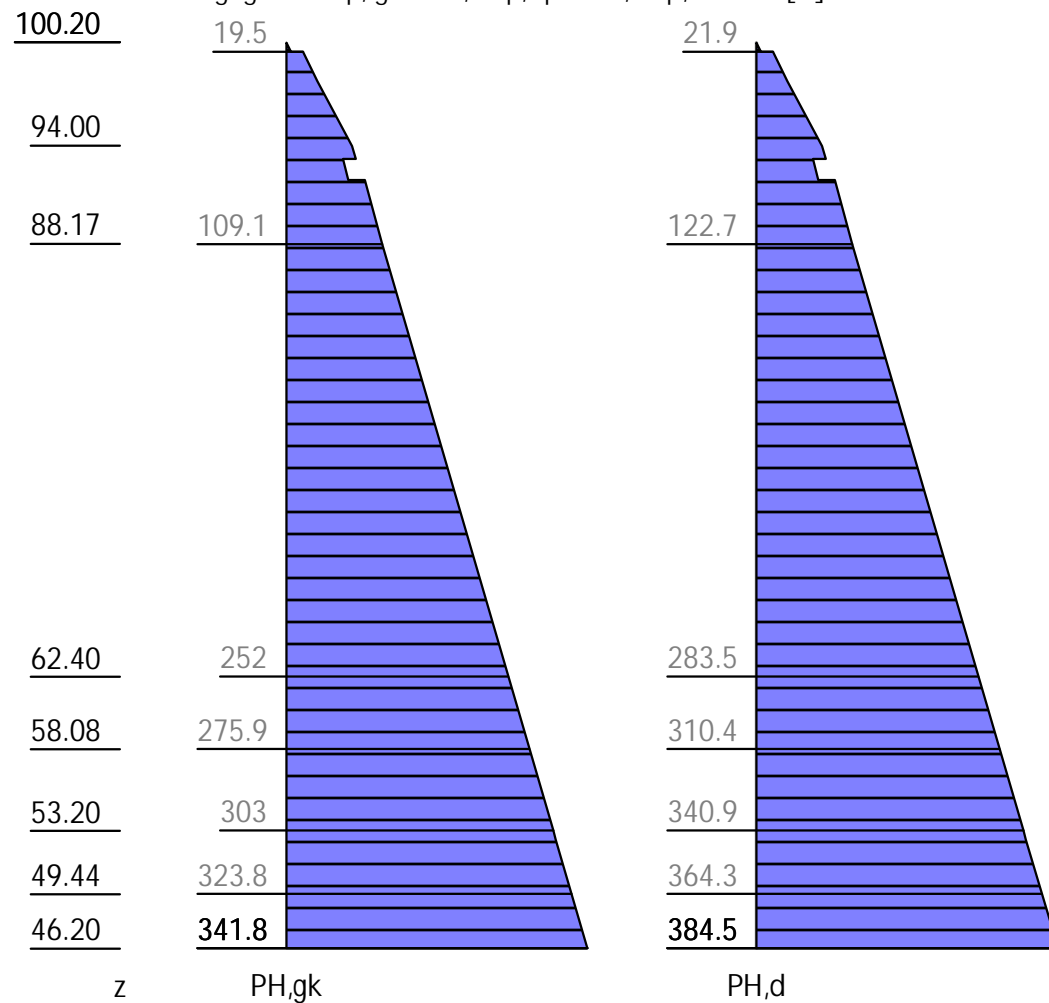
z [m]	eph, G, k [kN/m2]	eah, G, k [kN/m2]	eah, PG, k [kN/m2]	eah, d [kN/m2]
100.20		0.00		0.00
99.62		5.32	0.00	5.98
		5.32	14.18	21.94
98.50	-0.00	15.58	14.18	33.49
93.27	-291.90	60.18	18.77	88.81
	-291.90	60.18	4.58	72.86
92.00	-330.00	66.00	4.58	79.41
	-281.48	83.06	6.16	100.38
61.20	-846.86	252.48	6.16	290.97
	-5017.05	252.48	6.16	290.97
53.20	-5245.49	296.83	6.16	340.87
	-1075.30	296.83	6.16	340.87
46.20	-1203.79	335.65	6.16	384.54

Eph, G, k: -67610.99, Eph, PG, k: 0.00 [kN/m]

Eah, G, k: 9859.13, Eah, PG, k: 388.62, Eah, PQ, k: 0.00, Eah, d: 11528.72

H-Druck auf statisches System

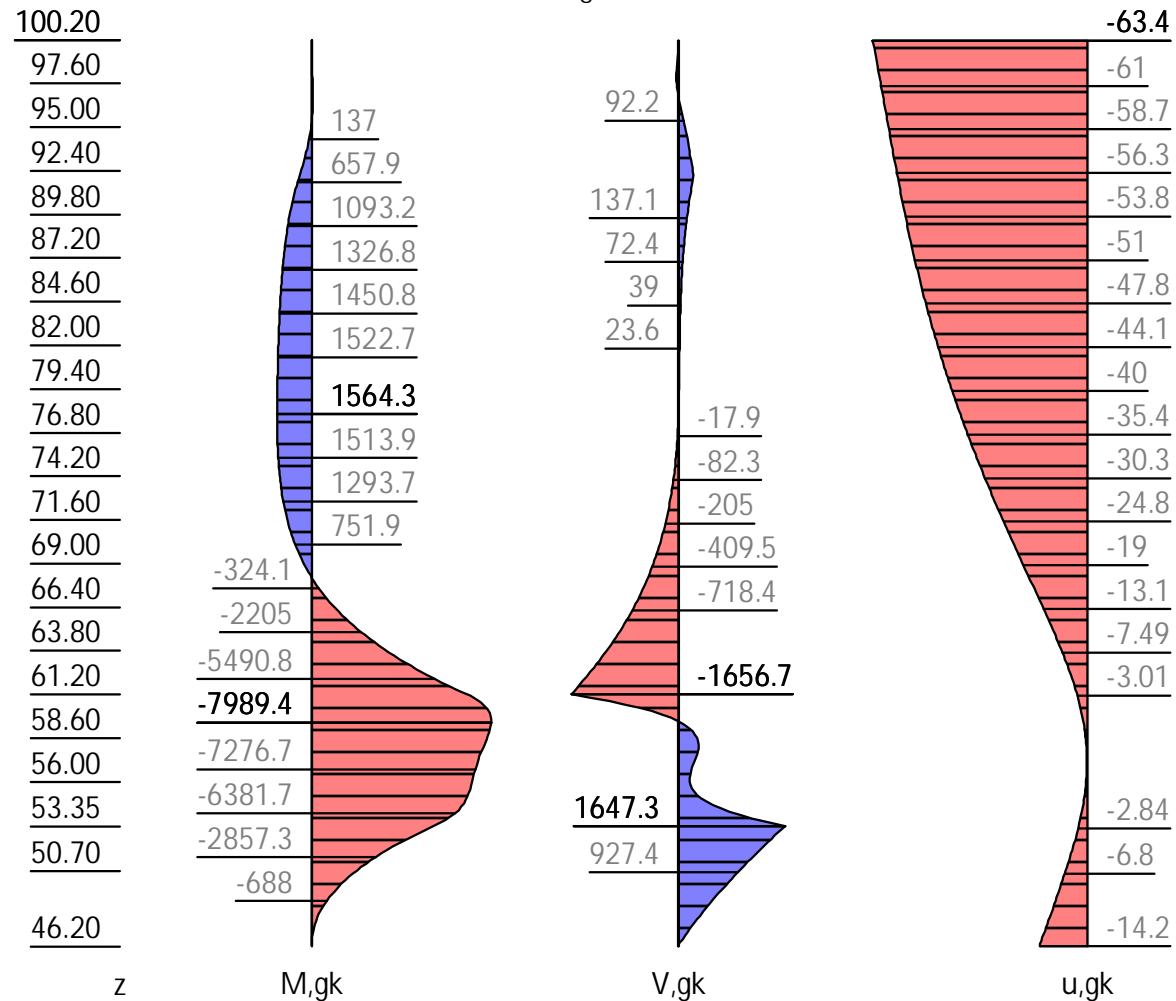
Mobilisierungsgrad: E_p, g_k 100, E_p, q_k 100, E_p, d 100 [%]



z [m]	PH, gk [kN/m²]	PH, d [kN/m²]
100.20	0.00	0.00
99.62	5.32	5.98
93.27	19.50	21.94
	78.94	88.81
	64.76	72.86
92.00	70.58	79.41
	89.22	100.38
46.20	341.81	384.54

Schnittgrößen: Ständig, charakteristisch

z= 65.529. Fx=-10247.749 kN/m Bettung



z [m]	H, g, k [kN/m]	M, g, k [kNm/m]	V, g, k [kN/m]	N, g, k [kN/m]	u, g, k [mm]
100.20	0.00	0.00	0.00	0.00	-63.42
100.20	0.00	0.00	-0.00	-0.00	-63.42
99.62	5.32	-0.30	-1.54	-29.00	-62.90
	19.50	-0.30	-1.54	-29.00	-62.90
98.00	34.35	-33.74	-37.35	-110.00	-61.45
96.90	45.41	-63.57	-5.43	-165.00	-60.46
96.81	46.35	-63.53	-0.00	-169.60	-60.38
95.44	60.25	0.00	89.83	-238.02	-59.16
93.27	78.94	311.47	189.66	-331.90	-57.21
	64.76	311.47	189.66	-331.90	-57.21
92.15	69.90	553.28	240.55	-365.50	-56.19
92.00	70.58	589.37	234.44	-370.00	-56.05
	89.22	589.37	234.44	-370.00	-56.05
77.95	165.75	1564.29	-0.00	-791.47	-37.69
77.90	166.04	1564.32	-0.54	-793.00	-37.60
68.13	220.20	-0.00	-478.18	-1086.04	-17.23
61.20	258.64	-6893.01	-1656.73	-1294.00	-3.15
59.59	267.58	-7988.81	-0.00	-1342.40	-1.31
59.50	268.06	-7989.35	41.11	-1345.00	-1.24
58.19	275.33	-7685.02	318.75	-1384.30	-0.48
53.35	302.16	-5446.30	1647.30	-1529.50	-2.66
46.22	341.67	-0.21	0.00	-1743.26	-14.19

z [m]	H, g, k [kN/m]	M, g, k [kNm/m]	V, g, k [kN/m]	N, g, k [kN/m]	u, g, k [mm]
46.20	341.81	0.00	-8.46	-1744.00	-14.23

Schnittgrößen: Design

z= 65.529. Fx=-11528.718 kN/m Bettung

100.20

97.60

95.00

92.40

89.80

87.20

84.60

82.00

79.40

76.80

74.20

71.60

69.00

66.40

63.80

61.20

58.60

56.00

53.35

50.70

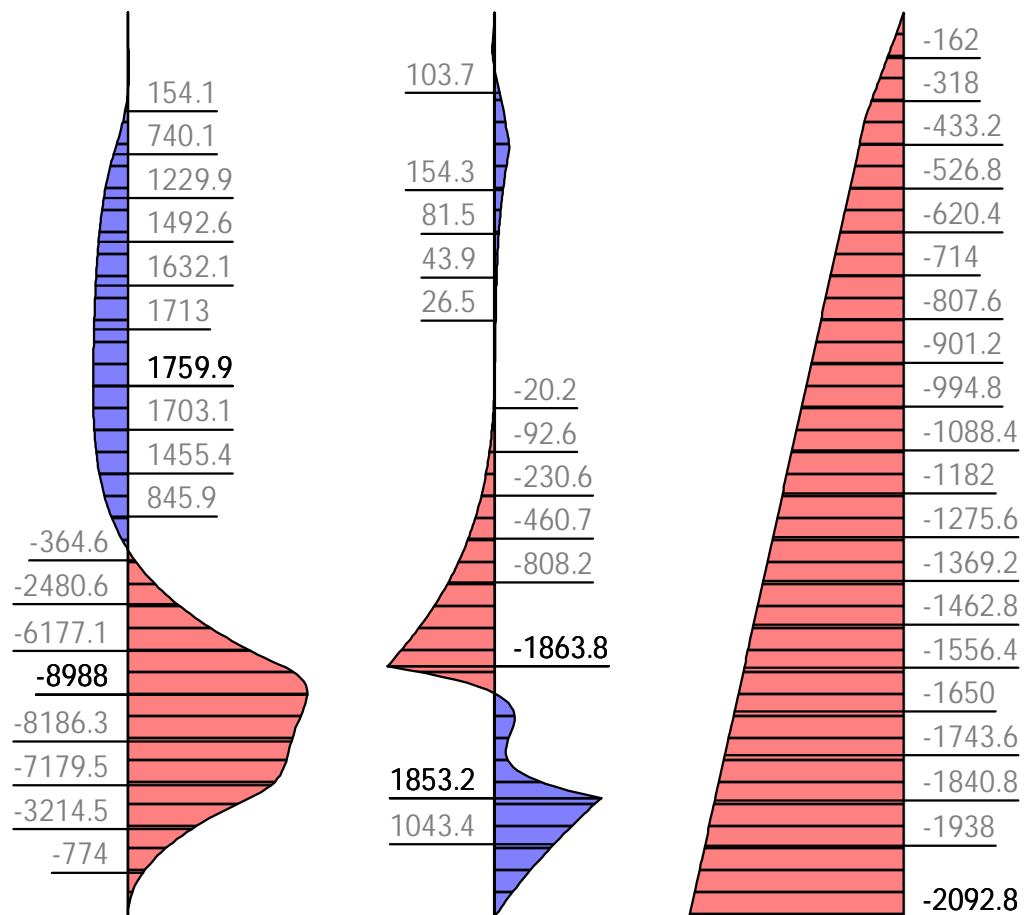
46.20

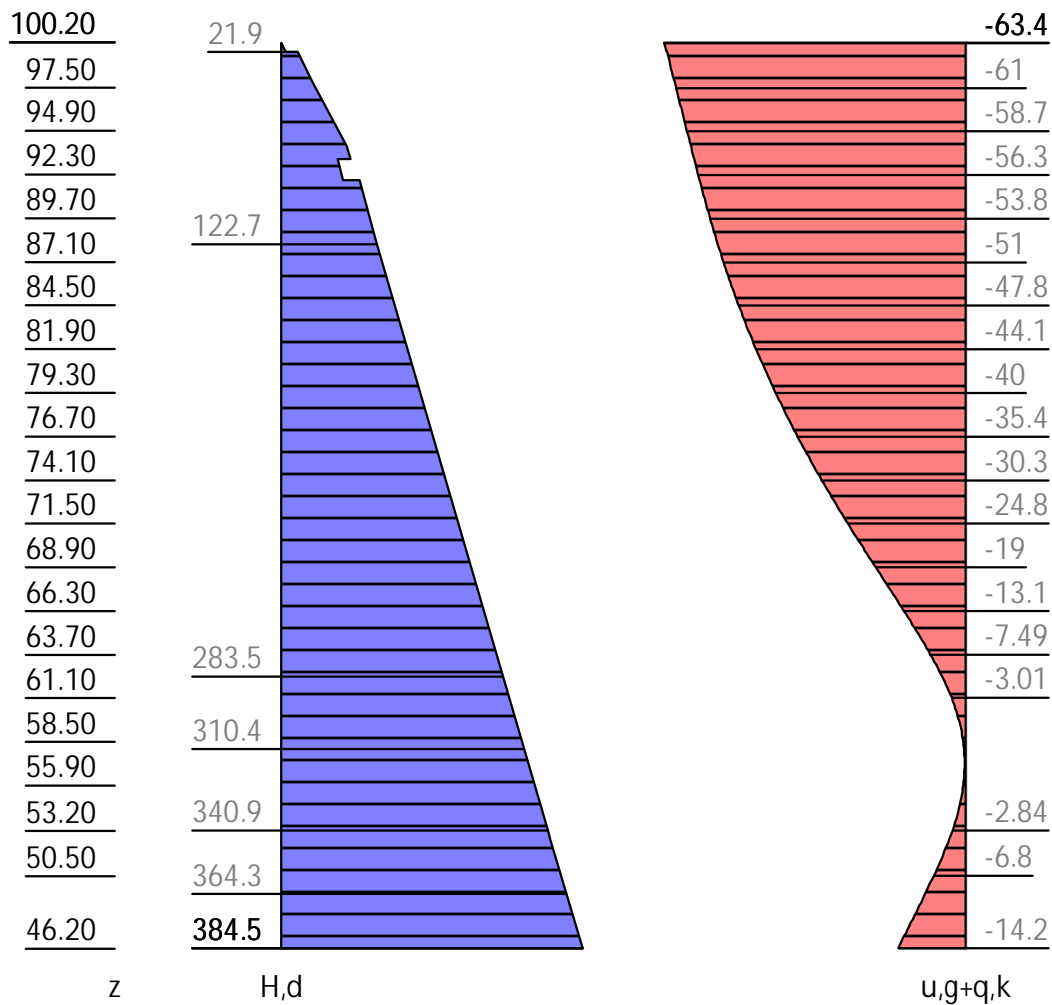
z

M,d

V,d

N,d





z [m]	H, d [kN/m]	M, d [kNm/m]	V, d [kN/m]	N, d [kN/m]	u, g+q, k [mm]
100.20	0.00	0.00	-0.00	-0.00	-63.42
99.62	5.98	-0.34	-1.73	-34.80	-62.90
	21.94	-0.34	-1.73	-34.80	-62.90
98.00	38.64	-37.96	-42.02	-132.00	-61.45
96.90	51.09	-71.52	-6.04	-198.00	-60.46
96.81	52.12	-71.47	-0.00	-203.40	-60.38
95.44	67.78	-0.00	101.06	-285.63	-59.16
93.27	88.81	350.40	213.37	-398.28	-57.21
	72.86	350.40	213.37	-398.28	-57.21
92.15	78.63	622.44	270.62	-438.60	-56.19
92.00	79.41	663.04	263.75	-444.00	-56.05
	100.38	663.04	263.75	-444.00	-56.05
77.95	186.48	1759.83	0.00	-949.80	-37.69
77.90	186.79	1759.86	-0.60	-951.60	-37.60
68.13	247.72	0.00	-537.95	-1303.25	-17.23
61.20	290.97	-7752.04	-1863.82	-1552.80	-3.15
59.59	301.01	-8987.39	-0.00	-1610.76	-1.31
59.50	301.57	-8988.02	47.14	-1614.00	-1.24
58.19	309.74	-8645.00	358.60	-1661.16	-0.48
53.35	339.93	-6127.08	1853.21	-1835.40	-2.66
46.22	384.41	-0.19	-0.00	-2092.08	-14.20
46.20	384.54	-0.00	-9.52	-2092.80	-14.23

Bettung

z [m]	B [MN/m3]	B, adapt [MN/m3]	σ_B , gk [kN/m2]	σ_B -eph [kN/m2]	B*u [kN/m2]
98.50	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00
96.70	2.00	1.95	-114.37	-6.37	-117.34
96.56	2.00	1.98	-116.30	-0.00	-119.32
96.50	2.00	2.00	-117.16	2.84	-120.21
92.00	2.00	2.00	-109.25	220.75	-112.09
	0.70	0.70	-38.24	243.25	-39.23
76.30	4.52	4.52	-152.82	512.09	-156.79
61.20	8.20	8.20	-25.16	821.70	-25.82
	600.00	600.00	-1841.12	3175.93	-1889.03
57.00	600.00	600.00	-176.92	4960.06	-181.53
53.20	600.00	600.00	-1661.94	3583.55	-1705.19
	10.20	10.20	-28.25	1047.04	-28.99
50.90	10.76	10.76	-64.53	1052.98	-66.21
46.20	11.90	11.90	-165.01	1038.78	-169.30

Erdstatische Nachweise

Nachweis des Erdauflagers

Nachweis: Mobilisierbarer Erdwiderstand ist ausreichend für Erdauflagerkraft.

$$\gamma, Re = 1.300 / 0.8 = 1.625$$

$$Rd = Eph, k/\gamma, Re = 67610.99 / 1.625 = 41606.77 \text{ [kN/m]}$$

$$Ed(APx, d)/Rd = 11528.72 / 41606.77 = 0.277 \text{ [-]}. \text{ Nachweis erfüllt}$$

Summe der H- und V-Kräfte, (G)

Kräfte bis Tiefe z: 46.20

Pos.	H	V

H/V-Druck G+P+W, k	10247.75	
Wandgewicht		1744.00
H/V-Druck passiv		0.00
Bettung, g ($\delta, p=0.00^\circ$)	-10247.75	
Bettung, g ($\delta, C=0.00^\circ$)		0.00

Σ	0.00	1744.00
		(nach unten)

Nachweis, EAB EB 9-1

Vertikal komponente des Erdwiderstands ist geringer als die nach unten gerichteten Vertikal kräfte.

$$Vk \geq Bvk: 1744.00 \geq -0.00 \text{ Nachweis erfüllt}$$

Summe der H- und V-Kräfte, (G+Q)

Kräfte bis Tiefe z: 46.20

Pos.	H	V

H/V-Druck G+P+W, k	10247.75	
Wandgewicht		1744.00
H/V-Druck passiv		0.00
Bettung, g ($\delta, p=0.00^\circ$)	-10247.75	
Bettung, g ($\delta, C=0.00^\circ$)		0.00

Σ	0.00	1744.00
		(nach unten)

Vertikal Komponente des Erdwiderstands ist geringer als die nach unten gerichteten Vertikalkräfte.

Abtragung der Vertikalkräfte

Mantelreibung und Spitzendruck nach EAB EB 84 und EB 85

Einbindeteife	$t_0, s:$	52.30 m (statisch notwendig)
	$t_0, r:$	0.00 m (Rammenteinbaulänge)
	$t_0 :$	52.30 m
$t_w = t_0 - 0.50$	$t_w :$	51.80 m
Mantelfläche	$U_{r,p}:$	1.00 m/m (passiv, entlang t_0)
- " -	$U_{r,a}:$	1.00 m/m
Mantelreibung	$q_r:$	50.00 kN/m ²
Aufstandsfläche	$A_b:$	2.40 m ² /m
Spitzenwiderstand	$q_s:$	1500.00 kN/m ²
$\eta, t: \min(1, (t_0 - 0.5) / 2.50) = 1.00$		
Spitzenruck		
$R_{b,k}: A_b \cdot q_s \cdot \eta, t =$		3600.00 kN/m
Mantelreibung		
$F_{r,mr}: U_{r,p} \cdot t_0 + U_{r,a} \cdot t_{0,r} =$		52.30 m ² /m
$Q_{mr}: F_{m,r} \cdot q_r =$		2615.00 kN/m
Nachweis		
$V_d:$		2092.80 kN/m
$R_d: (R_{b,k} + Q_{mr}) / \gamma_P$		
		$(3600.00 + 2615.00) / 1.750 = 3551.43 \text{ kN/m}$

Alternativer Nachweis

$$\text{Rd: } \text{Rb}, k/\gamma, P + \text{Bvk}/\gamma, \text{Re}$$

$$3600.00/1.750 + -0.00/1.625 = 2057.14 \text{ kN/m}$$

Nachweis erfüllt

Hydraulischer Grundbruch

Si cherhei tsbei werte: [HYD]

γ, G, stb : 0.950

 $\gamma, \text{H:}$ 1.900

Umströmte Länge $l_{ges} = 95.60 \text{ m}$. $\text{Summe}(h_i / k_i) = 9560000.00 \text{ 1/100s}$.

Schicht "quartäre" z: 94.00 / 92.00, h= 2.00m

$$Ed = \sum (yW^*h^*i) \cdot y_i H = 0.00^* 1.900 = 0.00 \quad (i=0.000)$$

$$Rd = \sum (y^*h) \cdot y, G, stb = 110.00^* 0.950 = 104.50$$

Schicht "Frankfurter Ton" z: 92.00 / 61.20, h= 30.80m

$$Ed = \sum (\gamma W^* h^* i) \cdot \gamma_{v, H} = 0.00 \cdot 1.900 = 0.00 \quad (i = 0.000)$$

$$R_d = \sum (y^*h) \cdot y, G, \text{ stb} = 387.20 \cdot 0.950 = 367.84$$

$$\text{Ed/Rd} = 0.000 \quad [-]$$

Author: DB Netz AG / Ingenieurgemeinschaft Fernbahntunnel Frankfurt am Main	Job No.:
Program: WALLS-Retain. Version 2020.191	
Structure: Knoten Frankfurt, ASB Nr.:	Date: 05.12.2020

Schicht "Beton" z: 61.20 / 53.20, h= 8.00m
 $Ed = \sum(\gamma W^* h^* i) \cdot \gamma, H = 0.00^* 1.900 = 0.00 \text{ (i=0.000)}$
 $Rd = \sum(\gamma^* h) \cdot \gamma, G, stb = 499.20^* 0.950 = 474.24$

Ed/Rd = 0.000 [-]

Schicht "Frankfurter Ton" z: 53.20 / 46.20, h= 7.00m
 $Ed = \sum(\gamma W^* h^* i) \cdot \gamma, H = 0.00^* 1.900 = 0.00 \text{ (i=0.000)}$
 $Rd = \sum(\gamma^* h) \cdot \gamma, G, stb = 562.20^* 0.950 = 534.09$

Ed/Rd = 0.000 [-]

Gleitkreisnachweis

LF: alle Lasten Typ: BS-P (Kombination: [GEO] A2+M2+R3, BS-P)

γ, G_{dst}	γ, EOG	γ, W	γ, G_{stb}	γ, Q_{dst}	γ, Q_{stb}	γ, ϕ	γ, coe	γ, cu
γ, g	γ, Rv	γ, Rh	γ, Re	γ, a_t	γ, a_p	γ, N	γ, Gt	γ, P
γ, Gap	$\gamma, Tilt$	$\gamma, Stbl$						
1.000	1.000	1.000	1.000	1.300	0.000	1.250	1.250	1.250
1.000	1.000	1.000	1.000	1.100	1.100	1.400	1.400	1.000
1.000	1.000	1.000						

Vertikale veränderliche Lasten wirken nur, falls sie ausserhalb $R \cdot \sin(\phi)$ liegen.
 Die autom. Gleitkreissuche berücksichtigt nur Kreise, die mit dem Gelände eine Schnittfläche von mindestens 0.25 m² haben.
 Die Gleitkreisberechnung erlaubt nur Kreise, die die Wand enthalten.
 Die Gleitkreisberechnung erlaubt nur kreisförmige Gleitlinien
 (keine Übergänge in vertikale Tangenten).

Kreisgeometrie (alle Längen- und Koordinatenangaben in [m])
 Mittelpunkt = (1.76, 131.98), Radius = 85.81
 Startpunkt = (-77.25, 98.50), Endpunkt = (81.47, 100.20)

Lamellengeometrie:

Nr	x	Breite	dxM	Gewicht	Auflast	Wasser-	u*b	ϕ	c	θ
	[m]	b	[m]	[kN/m]	z-Ri.	auflast	[kN/m]	[°]	[kN/m ²]	[°]
1	-72.96	8.58	-74.72	1476.7	0.0	0.0	-473.8	16.23	16.00	-36.88*
2	-64.38	8.58	-66.14	3511.0	0.0	0.0	-1396.3	16.23	16.00	-36.88*
3	-55.80	8.58	-57.56	4973.6	0.0	0.0	-2179.5	16.23	16.00	-36.88*
4	-47.22	8.58	-48.98	6085.0	0.0	0.0	-2770.5	16.23	16.00	-34.80
5	-38.64	8.58	-40.39	6940.4	0.0	0.0	-3223.9	16.23	16.00	-28.08
6	-30.05	8.58	-31.81	7590.5	0.0	0.0	-3568.0	16.23	16.00	-21.76
7	-21.47	8.58	-23.23	8065.0	0.0	0.0	-3818.9	16.23	16.00	-15.71
8	-12.89	8.58	-14.65	8382.1	0.0	0.0	-3986.5	16.23	16.00	-9.83
9	-4.31	8.58	-6.07	8552.4	0.0	0.0	-4076.5	16.23	16.00	-4.06
10	4.27	8.58	2.51	8872.5	201.6	0.0	-4091.8	16.23	16.00	1.68
11	12.85	8.58	11.09	8761.8	85.8	0.0	-4033.0	16.23	16.00	7.43
12	21.43	8.58	19.67	8506.6	85.8	0.0	-3898.1	16.23	16.00	13.25
13	30.01	8.58	28.26	8099.0	85.8	0.0	-3682.6	16.23	16.00	19.22
14	38.59	8.58	36.84	7524.6	85.8	0.0	-3378.7	16.23	16.00	25.42
15	47.18	8.58	45.42	6758.9	85.8	0.0	-2973.2	16.23	16.00	31.96
16	55.76	8.58	54.00	5761.9	85.8	0.0	-2443.8	16.23	16.00	39.00
17	64.34	8.58	62.58	4461.2	85.8	0.0	-1750.0	16.23	16.00	46.83
18	75.05	12.84	73.29	3240.0	128.4	0.0	-1013.8	16.23	16.00	58.66

*** Hinweis: Bei den mit '*' gekennzeichneten Lamellen wurde theta auf 45°-Phi/2 begrenzt.

Part: Fernbahntunnel inkl. Station unterhalb des Hbf Frankfurt/Main Block: Vorstatik, Schlitzwand in offene Bauweise, Machbarkeitsstudie, Anlage 1 Record:	Archive No.: <div style="text-align: right;">Page: 17</div>
--	--

Anteile vertikale Lasten:

Nr	Gewicht [kN/m]	$G \cdot \sin(\theta)$ [kN/m]	$(G - u \cdot b) \cdot \tan(\varphi) + c \cdot b$ [kN/m]	$\mu \cdot \sin(\theta) \cdot \tan(\varphi) + \cos(\theta)$ [-]	T [kN/m]
1	1476.72	-1285.82	429.34	0.787650	545.08
2	3511.01	-2706.04	753.04	0.787650	956.06
3	4973.63	-3335.96	950.88	0.787650	1207.24
4	6085.02	-3472.90	1102.42	0.809523	1361.82
5	6940.42	-3267.06	1219.46	0.872698	1397.34
6	7590.49	-2814.02	1308.56	0.921196	1420.50
7	8064.99	-2183.43	1373.66	0.957146	1435.16
8	8382.06	-1431.07	1417.19	0.981843	1443.40
9	8552.44	-604.91	1440.59	0.996056	1446.29
10	9074.14	265.60	1588.03	1.000167	1587.76
11	8847.66	1143.74	1539.22	0.994240	1548.14
12	8592.37	1969.98	1504.17	0.978029	1537.96
13	8184.85	2695.03	1448.24	0.950937	1522.96
14	7610.39	3266.91	1369.46	0.911912	1501.75
15	6844.76	3622.73	1264.62	0.859224	1471.81
16	5847.66	3679.76	1128.43	0.789992	1428.40
17	4547.05	3316.03	951.75	0.699067	1361.45
18	3368.37	2876.83	891.01	0.537534	1657.59
		-----			-----
		1735.41			24830.71

Einwirkung $E_d = (1735.4 \cdot 85.81)$

Widerstand $R_d = (24830.7 \cdot 85.81 + 0.0)$

GLEITKREIS $\mu = E_d / R_d = 0.07 < 1.0$: Nachweis erbracht.

Bauzustand: 2 "[2] Situation B"

LF: alle Lasten Typ: BS-T

[GEO] A1+M1+R2, BS-T

γ, G_{dst}	γ, EOG	γ, W	γ, G_{stb}	γ, Q_{dst}	γ, Q_{stb}	γ, ϕ	γ, coe	γ, cu
γ, g	γ, Rv	γ, Rh	γ, Re	γ, a_t	γ, a_p	γ, N	γ, Gt	γ, P
γ, Gap	$\gamma, Tilt$	$\gamma, Stbl$						
1.200	1.100	1.200	1.000	1.300	0.000	1.000	1.000	1.000
1.000	1.300	1.100	1.300	1.100	1.100	1.300	1.300	1.400
1.000	1.000	1.000						

Schichtsystem mit 4 Schichten

Name		quartäre Frankfurter Ton		Beton	Frankfurter Ton
γ	[kN/m ³]	20		19	19
γ, R	[kN/m ³]	20		19	19
γ'	[kN/m ³]	10		9	9
γ, p	[kN/m ³]	20		19	24
$\gamma, R, passi v$	[kN/m ³]	20		19	24
γ, pw	[kN/m ³]	10		9	14
ϕ	[°]	30		20	20
c	[kN/m ²]	0		20	20
c, u	[kN/m ²]	10		100	0
$c, passi v$	[kN/m ²]	0		20	1480
δ, a	[°]	0		0	0
δ, p	[°]	0		0	0
δ, c	[°]	10		6.666667	0
τ, gr	[kN/m ²]	110		110	110
Ψ, A, max	[°]	90		90	90
k	[cm/s]	10e-06		10e-06	10e-06

Geländevertiefung:

x [m] 0.00 0.00
z [m] 91.00 100.20

Verlauf Oberkante der 2. Schicht Frankfurter Ton:

x [m] 0.00 0.00
z [m] 91.00 92.00

Verlauf Oberkante der 3. Schicht Beton:

Kote z= 61.20

Verlauf Oberkante der 4. Schicht Frankfurter Ton:

Kote z= 53.20

Streifenlasten:

Lasten

xA	zA	xE	zE	PxA	PzA	PxE	PzE	Art	LF-Bezeichnung
[m]	[m]	[m]	[m]	[kN/m ²]		Name
4.00	100.20	9999.99	100.20	0.00	10.00	0.00	10.00	g	1
1.00	100.20	4.00	100.20	0.00	52.00	0.00	52.00	g	1

Erddruckverteilung

Erddruckverteilung	Name
Schichtweise Rechteckig	
Schichtweise Rechteckig	

Verlauf des Grundwasserspiegels:

x [m]	0.00	0.00
-------	------	------

z [m]	90.50	94.00
-------	-------	-------

Abstützungen

z[m]	Al pha[°]	C-H[kN/m]	C-M[kN/m]
99.50	-180.00	708000.00	0.00

Berechnungsparameter

Erddruck Optionen

Erddruckansatz: Aktiver Erddruck mit Ruhedruckanteil 75% nach DIN 4085:2011.

Gleitflächenwinkel : DIN 4085.

Abschnitte zur Unterteilung von Blocklasten: 1.

Erdruchdruck für Blocklasten nach Weissenbach, Konzentrationsfaktor $n=4$.

Erdruchdruck für Linienlasten: klassisch, dreiecksförmig.

Berücksichtigung des Mindesterdru cks: $\varphi_{\min} = 30.000$.

Negative Erddruckanteile werden zu Null gesetzt.

Erddruckumlagerung

Umlagerungsfigur: Rechteckig.

Der Erddruck wird umgelagert bis: Aushubsohle

Der Erddruck unter der Aushubkote wirkt ohne Umlagerung.

Der Erddruck aus veränderlichen Lasten wird mit umgelagert.

Passiver Erddruck

Berechnungsmethode: Klassisch, Pregl / Sokolovsky (DIN 4085).

Wasserdruckoptionen

Fußauflagerung

Fuß horizontal verschieblich

Wandfuß wird gebettet gelagert.

Adaption der Bettungsspannungen auf Eph / 1.000.

Erddruckbeiwerte k_h

φ	α	β	δ	k0gh	kagh	kach	kpgh	kpch	
30.0	0.0	0.0	0.0	0.500	0.333	--	--	--	quartäre
20.0	0.0	0.0	0.0	0.658	0.490	1.400	2.040	-2.856	Frankfurter Ton
20.0	0.0	0.0	0.0	0.658	0.490	1.400	2.040	-2.856	Beton
20.0	0.0	0.0	0.0	0.658	0.490	1.400	2.040	-2.856	Frankfurter Ton

Wandlänge

Fußtiefe für Statik: $z_f = 46,200$

Statik

Erddruck, horizontal

Drücke charakteristisch, ohne Umlagerung, durchgehende Wand

100.20

94.00

91.00

88.17

61.20

53.20

46.20

z

eph,G+PG,k

eah,G,k

eah,PG,k

z [m]	eph, G, k [kN/m2]	eah, G, k [kN/m2]	eah, PG, k [kN/m2]	eah, d [kN/m2]
100.20		0.00		0.00
99.62		5.32	0.00	5.98
		5.32	14.18	21.94
93.27		60.18	18.77	88.81
		60.18	4.58	72.86
92.00		66.00	4.58	79.41
		83.06	6.16	100.38
91.00	-0.00	88.25	6.16	106.21
	-57.13	88.25	6.16	106.21
61.20	-614.35	252.48	6.16	290.97
	-4784.54	252.48	6.16	290.97
53.20	-5012.97	296.83	6.16	340.87
	-842.78	296.83	6.16	340.87
46.20	-971.28	335.65	6.16	384.54

Eph, G, k: -55693.60, Eph, PG, k: 0.00 [kN/m]

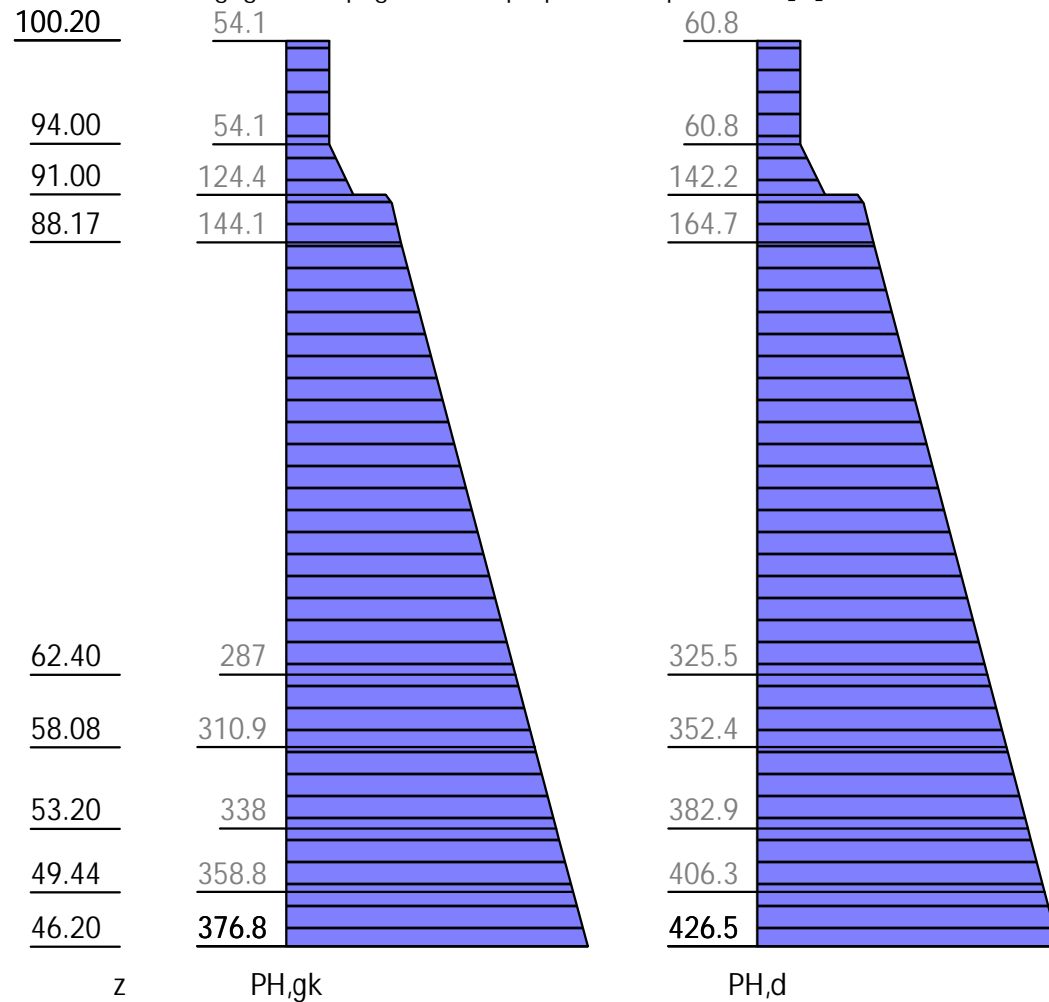
Eah, G, k: 9859.13, Eah, PG, k: 388.62, Eah, PQ, k: 0.00, Eah, d: 11528.72

Wasserdruck

z [m]	Wp, k [kN/m ²]	Wa, k [kN/m ²]	W, k [kN/m ²]
94.00		0.00	0.00
90.50	0.00	35.00	35.00
46.20	-443.00	478.00	35.00

H-Druck auf statisches System

Mobilisierungsgrad: Ep, gk 100, Ep, qk 100, Ep, d 100 [%]



z [m]	PH, gk [kN/m ²]	PH, d [kN/m ²]
100.20	54.05	60.81
91.00	84.05	96.81
	124.41	142.22
46.20	376.81	426.54

Schnittgrößen: Ständig, charakteristisch

z= 99.500. Fx=-981.949 kN/m Abstützung

z= 63.204. Fx=-10877.550 kN/m Bettung

100.20

97.50

94.50

91.50

88.90

86.30

83.70

81.10

78.50

75.90

73.30

70.70

68.10

65.50

62.90

60.30

57.70

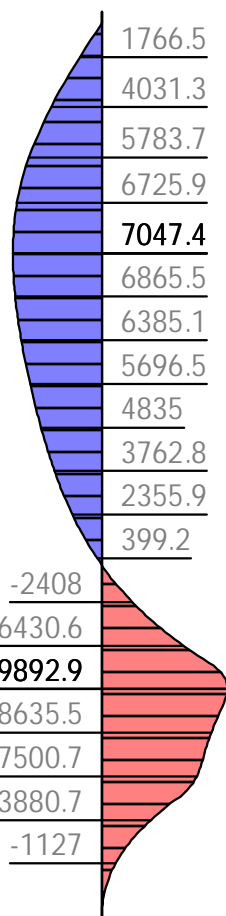
55.10

52.54

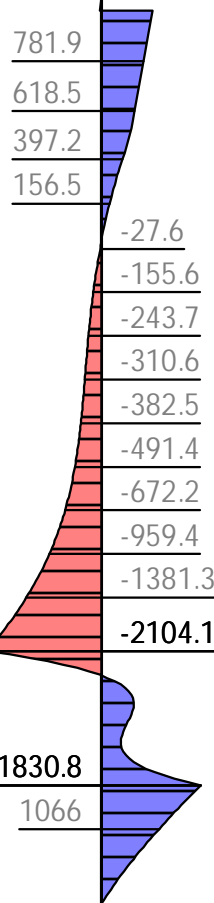
49.90

46.20

z

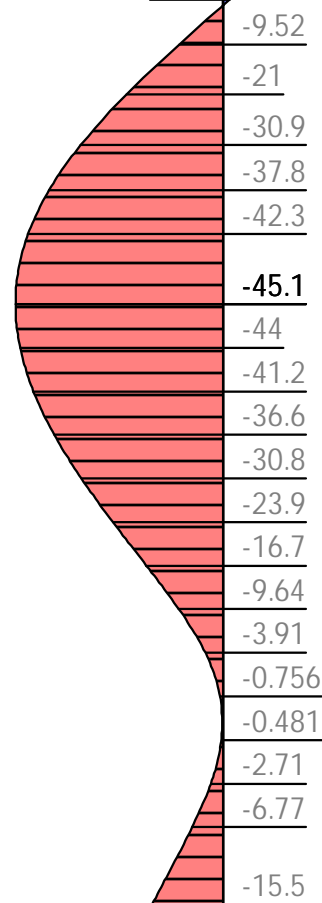


M,gk



V,gk

1.48



u,gk

z [m]	H, g, k [kN/m]	M, g, k [kNm/m]	V, g, k [kN/m]	N, g, k [kN/m]	u, g, k [mm]
100.20	54.05	-0.00	-0.00	-0.00	1.48
99.84	54.05	-4.88	-19.52	-18.05	0.00
99.50	54.05	-13.24	-37.84	-35.00	-1.39
	54.05	-13.24	944.11	-35.00	-1.39
99.48	54.05	0.00	943.14	-35.90	-1.46
91.00	84.05	6014.00	439.65	-430.00	-32.31
	124.41	6014.00	439.65	-430.00	-32.31
85.80	157.23	7047.38	2.64	-586.00	-42.80
85.76	157.47	7047.23	-0.00	-587.27	-42.85
82.00	178.30	6674.37	-182.61	-700.00	-45.05
67.17	260.55	-0.00	-950.43	-1144.98	-18.82
61.30	293.08	-8596.36	-2104.14	-1321.00	-4.09
59.85	301.13	-9890.92	-0.00	-1364.52	-1.90
59.80	301.40	-9892.92	39.41	-1366.00	-1.84
58.24	310.05	-9282.57	603.46	-1412.80	-0.56
53.30	337.44	-6012.99	1830.79	-1561.00	-2.84
46.22	376.67	-0.24	0.00	-1773.27	-15.42
46.20	376.81	-0.00	-9.19	-1774.00	-15.46

Schnittgrößen: Design

z= 99.500. Fx=-1116.163 kN/m Abstützung

z= 63.229. Fx=-12346.654 kN/m Bettung

100.20

97.50

94.50

91.50

88.90

86.30

83.70

81.10

78.50

75.90

73.30

70.70

68.10

65.50

62.90

60.30

57.70

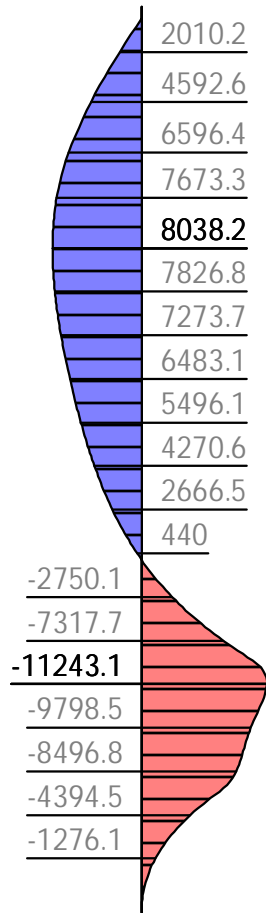
55.10

52.54

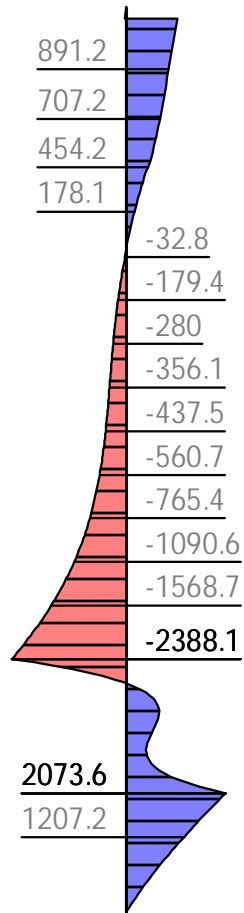
49.90

46.20

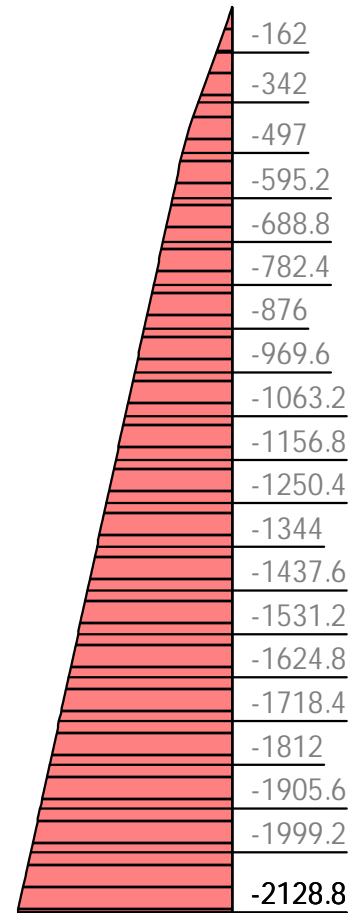
z



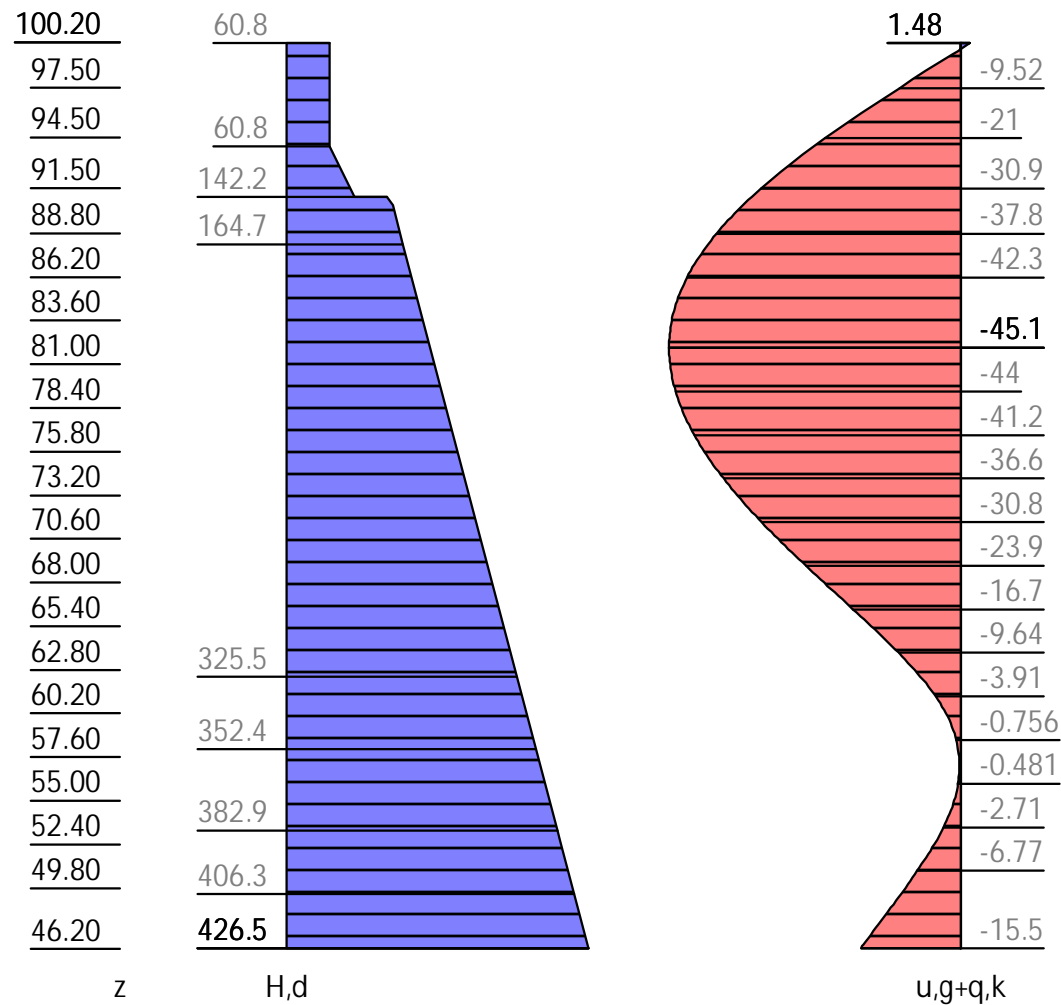
M,d



V,d



N,d



Ankerkräfte mit Sicherheiten des BS-P

γ, G_{dst}	γ, EOG	γ, W	γ, G_{stb}	γ, Q_{dst}	γ, Q_{stb}	γ, ϕ	γ, coe	γ, cu
γ, g	γ, Rv	γ, Rh	γ, Re	γ, a_t	γ, a_p	γ, N	γ, Gt	γ, P
γ, Gap	$\gamma, Tilt$	$\gamma, Stbl$						
1.350	1.200	1.350	1.000	1.500	0.000	1.000	1.000	1.000
1.000	1.400	1.100	1.400	1.100	1.100	1.400	1.400	1.400
1.000	1.000	1.000						

z [m]	A, d [kN]	Fx, d [kN/m]
99.50	1232.4	-1232.4

Bettung

z [m]	B [MN/m3]	B, adapt [MN/m3]	σ_B, gk [kN/m2]	$\sigma_B\text{-eph}$ [kN/m2]	B*u [kN/m2]
91.00	0.00	0.00	0.00	57.13	-0.00
74.80	4.89	4.89	-186.05	178.65	-185.09
61.20	8.20	8.20	-32.23	582.12	-32.06
	600.00	600.00	-2358.22	2426.32	-2346.06
57.00	600.00	600.00	-163.24	4741.23	-162.40
53.20	600.00	600.00	-1792.29	3220.68	-1783.05
	10.20	10.20	-30.47	812.31	-30.31
51.80	10.54	10.54	-53.67	814.81	-53.40
46.20	11.90	11.90	-184.91	786.37	-183.95

Erdstatische Nachweise

Nachweis des Erdauflagers

Nachweis: Mobilisierbarer Erdwiderstand ist ausreichend für Erdauflagerkraft.

$$\gamma, Re = 1.300 / 0.8 = 1.625$$

$$Rd = Eph, k / \gamma, Re = 55693.60 / 1.625 = 34272.99 \text{ [kN/m]}$$

$$Ed(APx, d) / Rd = 12346.65 / 34272.99 = 0.360 [-]. \text{ Nachweis erfüllt}$$

Summe der H- und V-Kräfte, (G)

Kräfte bis Tiefe z: 46.20

Pos.	H	V
H/V-Druck G+P+W, k	11859.50	
Wandgewicht		1779.00
H/V-Druck passiv		0.00
Abstützung z: 99.50	-981.95	0.00
Bettung, g ($\delta, p=0.00^\circ$)	-10877.55	
Bettung, g ($\delta, C=0.00^\circ$)		0.00
Σ	0.00	1779.00
		(nach unten)

Nachweis, EAB EB 9-1

Vertikal komponente des Erdwiderstands ist geringer als die nach unten gerichteten Vertikal kräfte.

$$Vk \geq Bvk: 1779.00 \geq -0.00 \text{ Nachweis erfüllt}$$

Summe der H- und V-Kräfte, (G+Q)

Kräfte bis Tiefe z: 46.20

Pos.	H	V
H/V-Druck G+P+W, k	11859.50	
Wandgewicht		1779.00
H/V-Druck passiv		0.00
Abstützung z: 99.50	-981.95	0.00
Bettung, g (δ , p=0.00°)	-10877.55	
Bettung, g (δ , C=0.00°)		0.00
Σ	0.00	1779.00
		(nach unten)

Nachweis, EAB EB 9-1

Vertikal Komponente des Erdwiderstands ist geringer als die nach unten gerichteten Vertikalkräfte.

$V_k \geq B_{vk}$: 1779.00 \geq -0.00 Nachweis erfüllt

Abtragung der Vertikalkräfte

Mantelreibung und Spitzendruck nach EAB EB 84 und EB 85

V	k [kN/m]	d [kN/m]
G+W, Upl:	1779.000	2134.800
Av, g:	0.000	0.000
Vd:		2134.800

Einbindetiefe t_0 , s: 44.80 m (statisch notwendig)

t_0 , r: 0.00 m (Rammtiefenzuschlag)

t_0 : 44.80 m

$t_w = t_0 - 0.50$ t_w : 44.30 m

Mantelfläche $U_{r,p}$: 1.00 m/m (passiv, entlang t_0)

"- $U_{r,a}$: 1.00 m/m

Mantelreibung q_r : 50.00 kN/m²

Aufstandsfläche A_b : 2.40 m²/m

Spitzenwiderstand q_s : 1500.00 kN/m²

$\eta_t = \min(1, (t_0 - 0.5) / 2.50) = 1.00$

Spitzendruck

$R_{b,k} = A_b \cdot q_s \cdot \eta_t = 3600.00$ kN/m

Mantelreibung

$F_{mr} = U_{r,p} \cdot t_0 + U_{r,a} \cdot t_0$, r = 44.80 m²/m

$Q_{mr} = F_{mr} \cdot q_r = 2240.00$ kN/m

Nachweis

Vd: 2134.80 kN/m

Rd: $(R_{b,k} + Q_{mr}) / \gamma_P$

$(3600.00 + 2240.00) / 1.750 = 3337.14$ kN/m

E_d / R_d : 0.640 [-]

Alternativer Nachweis

Rd: $R_{b,k} / \gamma_P + B_{vk} / \gamma_{Re}$

$3600.00 / 1.750 + -0.00 / 1.625 = 2057.14$ kN/m

E_d / R_d : 1.038 [-]

Nachweis erfüllt

Hydraulischer Grundbruch

Sicherheitsbeiwerte: [HYD]

$\gamma_{G, stb}$: 0.950

γ_H : 1.900

Author: DB Netz AG / Ingenieurgemeinschaft Fernbahntunnel Frankfurt am Main	Job No.:
Program: WALLS-Retain. Version 2020.191	
Structure: Knoten Frankfurt, ASB Nr.:	Date: 05.12.2020

Umströmte Länge l, ges=92.10 m. Summe(h, i /k, i)=9210000.00 1/100s.

Schicht "Frankfurter Ton" z: 90.50 / 61.20, h= 29.30m
 $Ed=\Sigma(\gamma W \cdot h \cdot i) \cdot \gamma, H = 11.13 \cdot 1.900 = 21.16$ (i=0.038)
 $Rd=\Sigma(\gamma \cdot h) \cdot \gamma, G, stb = 273.20 \cdot 0.950 = 259.54$
Ed/Rd = 0.082 [-]

Schicht "Beton" z: 61.20 / 53.20, h= 8.00m
 $Ed=\Sigma(\gamma W \cdot h \cdot i) \cdot \gamma, H = 14.17 \cdot 1.900 = 26.93$ (i=0.038)
 $Rd=\Sigma(\gamma \cdot h) \cdot \gamma, G, stb = 385.20 \cdot 0.950 = 365.94$
Ed/Rd = 0.074 [-]

Schicht "Frankfurter Ton" z: 53.20 / 46.20, h= 7.00m
 $Ed=\Sigma(\gamma W \cdot h \cdot i) \cdot \gamma, H = 16.83 \cdot 1.900 = 31.99$ (i=0.038)
 $Rd=\Sigma(\gamma \cdot h) \cdot \gamma, G, stb = 448.20 \cdot 0.950 = 425.79$
Ed/Rd = 0.075 [-]

Gleitkreisnachweis

LF: alle Lasten Typ: BS-P (Kombination: [GEO] A2+M2+R3, BS-P)

γ, G_{dst}	γ, EOG	γ, W	γ, G_{stb}	γ, Q_{dst}	γ, Q_{stb}	γ, ϕ	γ, coe	γ, cu
γ, g	γ, Rv	γ, Rh	γ, Re	γ, a_t	γ, a_p	γ, N	γ, Gt	γ, P
γ, Gap	$\gamma, Tilt$	$\gamma, Stbl$						
1.000	1.000	1.000	1.000	1.300	0.000	1.250	1.250	1.250
1.000	1.000	1.000	1.000	1.100	1.100	1.400	1.400	1.000
1.000	1.000	1.000						

Vertikale veränderliche Lasten wirken nur, falls sie ausserhalb $R \cdot \sin(\phi)$ liegen.
 Die autom. Gleitkreissuche berücksichtigt nur Kreise, die mit dem Gelände eine Schnittfläche von mindestens 0.25 m² haben.
 Die Gleitkreisberechnung erlaubt nur Kreise, die die Wand enthalten.
 Die Gleitkreisberechnung erlaubt nur kreisförmige Gleitlinien
 (keine Übergänge in vertikale Tangenten).

Kreisgeometrie (alle Längen- und Koordinatenangaben in [m])
 Mittelpunkt = (-2.81, 109.83), Radius = 63.70
 Startpunkt = (-63.67, 91.00), Endpunkt = (60.16, 100.20)

Lamellengeometrie:

Nr	x	Breite	dxM	Gewicht	Auflast	Wasser-	u*b	ϕ	c	θ
	[m]	b	[m]	[kN/m]	z-Ri.	auflast	[kN/m]	[°]	[kN/m ²]	[°]
		[m]			[kN/m]					
1	-60.48	6.37	-57.67	995.8	0.0	0.0	-435.6	16.23	16.00	-36.88*
2	-54.11	6.37	-51.30	2291.9	0.0	0.0	-1149.6	16.23	16.00	-36.88*
3	-47.74	6.37	-44.93	3186.7	0.0	0.0	-1631.0	16.23	16.00	-36.88*
4	-41.37	6.37	-38.56	3858.2	0.0	0.0	-1988.7	16.23	16.00	-36.88*
5	-35.00	6.37	-32.19	4374.4	0.0	0.0	-2262.6	16.23	16.00	-30.35
6	-28.63	6.37	-25.82	4769.5	0.0	0.0	-2471.8	16.23	16.00	-23.91
7	-22.26	6.37	-19.45	5063.1	0.0	0.0	-2627.1	16.23	16.00	-17.78
8	-15.89	6.37	-13.08	5267.0	0.0	0.0	-2734.8	16.23	16.00	-11.85
9	-9.52	6.37	-6.71	5388.4	0.0	0.0	-2799.0	16.23	16.00	-6.04
10	-3.15	6.37	-0.34	5437.4	0.0	0.0	-2933.0	16.23	16.00	-0.30
11	3.22	6.37	6.03	6562.4	180.0	0.0	-3026.3	16.23	16.00	5.43
12	9.59	6.37	12.40	6449.5	63.7	0.0	-2966.6	16.23	16.00	11.23
13	15.96	6.37	18.77	6254.6	63.7	0.0	-2863.6	16.23	16.00	17.14
14	22.33	6.37	25.14	5971.0	63.7	0.0	-2713.6	16.23	16.00	23.25
15	28.70	6.37	31.51	5587.5	63.7	0.0	-2510.6	16.23	16.00	29.65
16	35.07	6.37	37.88	5085.4	63.7	0.0	-2244.3	16.23	16.00	36.49
17	41.44	6.37	44.26	4432.7	63.7	0.0	-1896.8	16.23	16.00	44.00
18	47.81	6.37	50.63	3566.8	63.7	0.0	-1431.8	16.23	16.00	52.63

Part: Fernbahntunnel inkl. Station unterhalb des Hbf Frankfurt/Main Block: Vorstatik, Schlitzwand in offene Bauweise, Machbarkeitsstudie, Anlage 1 Record:	Archive No.: <div style="text-align: right;">Page: 28</div>
--	--

Author: DB Netz AG / Ingenieurgemeinschaft Fernbahntunnel Frankfurt am Main										Job No.:	
Program: WALLS-Retain. Version 2020.191											
Structure: Knoten Frankfurt,										ASB Nr.:	
Date: 05.12.2020											

Nr	x	Breite b	dxM	Gewicht	Auflast z-Ri.	Wasser- auflast	u*b	φ	c	θ
	[m]	[m]	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[°]	[kN/m²]	[°]
19	55.58	9.16	58.39	2831.8	91.6	0.0	-836.7	16.23	16.00	66.43

*** Hinweis: Bei den mit '*' gekennzeichneten Lamellen wurde theta auf 45°-Phi/2 begrenzt.

Anteile vertikale Lasten:

Nr	Gewicht	$G \cdot \sin(\theta)$	$(G - u \cdot b) \cdot \tan(\varphi) + c \cdot b$	$\mu \cdot \sin(\theta) \cdot \tan(\varphi) + \cos(\theta)$	T
	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[-]	[kN/m]
1	995.76	-901.47	265.04	0.742933	356.75
2	2291.92	-1845.70	434.54	0.742933	584.90
3	3186.70	-2247.59	554.91	0.742933	746.91
4	3858.22	-2335.40	646.29	0.742933	869.91
5	4374.43	-2210.42	716.85	0.815009	879.56
6	4769.53	-1933.12	770.98	0.875735	880.38
7	5063.10	-1545.79	811.24	0.923294	878.64
8	5266.99	-1081.34	839.23	0.959223	874.91
9	5388.37	-567.43	855.90	0.984451	869.42
10	5437.41	-28.85	831.14	0.999483	831.57
11	6742.44	638.47	1183.98	1.004489	1178.69
12	6513.19	1268.08	1134.60	0.999332	1135.36
13	6318.32	1861.97	1107.85	0.983545	1126.39
14	6034.73	2381.87	1068.95	0.956252	1117.86
15	5651.16	2795.60	1016.40	0.915992	1109.61
16	5149.08	3062.13	947.74	0.860363	1101.56
17	4496.40	3123.62	858.86	0.785202	1093.81
18	3630.53	2885.16	742.16	0.682392	1087.58
19	2923.44	2679.62	754.20	0.486754	1549.44
	-----	-----	-----	-----	-----
		5999.40			18273.25

Beiträge aus Steifen:

Lage bei z= 99.50 m: M,d = 10145.73 / 1.100 = 9223.40 kNm/m (rückh.)

Summe abtreibende Beiträge aus Steifen M,d = 0.0 kNm/m

Summe rückhaltende Beiträge aus Steifen M,d = 9223.4 kNm/m

Einwirkung $E_d = (5999.4 \cdot 63.70)$

Widerstand $R_d = (18273.3 \cdot 63.70 + 9223.4)$

GLEITKREIS $\mu = E_d / R_d = 0.33 < 1.0$: Nachweis erbracht.

Part: Fernbahntunnel inkl. Station unterhalb des Hbf Frankfurt/Main		Archive No.:
Block: Vorstatik, Schlitzwand in offene Bauweise, Machbarkeitsstudie, Anlage 1	Page: 29	
Record:		

Bauzustand: 3 "[3] Situation C"

LF: alle Lasten Typ: BS-T

[GEO] A1+M1+R2, BS-T

γ, G_{dst}	γ, EOG	γ, W	γ, G_{stb}	γ, Q_{dst}	γ, Q_{stb}	γ, ϕ	γ, coe	γ, cu
γ, g	γ, Rv	γ, Rh	γ, Re	γ, a_t	γ, a_p	γ, N	γ, Gt	γ, P
γ, Gap	$\gamma, Tilt$	$\gamma, Stbl$						
1.200	1.100	1.200	1.000	1.300	0.000	1.000	1.000	1.000
1.000	1.300	1.100	1.300	1.100	1.100	1.300	1.300	1.400
1.000	1.000	1.000						

Schichtsystem mit 4 Schichten

Name		quartäre Frankfurter Ton	Beton	Frankfurter Ton
γ	[kN/m ³]	20	19	19
γ, R	[kN/m ³]	20	19	19
γ'	[kN/m ³]	10	9	9
γ, p	[kN/m ³]	20	19	24
$\gamma, R, passi v$	[kN/m ³]	20	19	24
γ, pw	[kN/m ³]	10	9	14
ϕ	[°]	30	20	20
c	[kN/m ²]	0	20	20
c, u	[kN/m ²]	10	100	0
$c, passi v$	[kN/m ²]	0	20	1480
δ, a	[°]	0	0	0
δ, p	[°]	0	0	0
δ, c	[°]	10	0	0
τ, gr	[kN/m ²]	110	110	110
Ψ, A, max	[°]	90	90	90
k	[cm/s]	10e-06	10e-06	10e-06

Geländeverlauf:

x [m]	0.00	0.00
z [m]	83.00	100.20

Verlauf Oberkante der 2. Schicht Frankfurter Ton:

x [m]	0.00	0.00
z [m]	83.00	92.00

Verlauf Oberkante der 3. Schicht Beton:

Kote z= 61.20

Verlauf Oberkante der 4. Schicht Frankfurter Ton:

Kote z= 53.20

Streifenlasten:

Lasten

xA	zA	xE	zE	PxA	PzA	PxE	PzE	Art	LF-Bezeichnung
[m]	[m]	[m]	[m]	[kN/m ²]		Name
4.00	100.20	9999.99	100.20	0.00	10.00	0.00	10.00	g	1
1.00	100.20	4.00	100.20	0.00	52.00	0.00	52.00	g	1

Erddruckverteilung

Erddruckverteilung	Name
Schichtweise Rechteckig	
Schichtweise Rechteckig	

Verlauf des Grundwasserspiegels:

x [m]	0.00	0.00
z [m]	82.50	94.00

Abstützungen

z[m]	Al pha[°]	C-H[kN/m]	C-M[kN/m]
92.00	-180.00	708000.00	0.00

Berechnungsparameter

Erddruck Optionen

Erddruckansatz: Aktiver Erddruck mit Ruhedruckanteil 75% nach DIN 4085: 2011.

Gleitflächenwinkel : DIN 4085.

Abschnitte zur Unterteilung von Blocklasten: 1.

Erdruchedruck für Blocklasten nach Weißenbach, Konzentrationsfaktor $n=4$.

Erdruchdruck für Linienlasten: klassisch, dreiecksförmig.

Berücksichtigung des Mindesterdruicks: $\varphi_{\min} = 30.000$.

Negative Erddruckanteile werden zu Null gesetzt.

Erddruckumlagerung

Umlagerungsfigur: Dreiecksförmig (rechtwinklig zur Wand).

Der Erddruck wird umgelagert bis: Aushubsohle

Der Erddruck unter der Aushubkote wirkt ohne Umlagerung.

Kosten der Umlagerung Z1: 92.000, Z2: 92.000 [m].

Der Erddruck aus veränderlichen Lasten wird mit umgelagert.

Passiver Erddruck

Berechnungsmethode: Klassisch, Pregl / Sokolovsky (DIN 4085).

Wasserdruckoptionen

Fußauflagerung

Fuß horizontal verschieblich

Wandfuß wird gebettet gelagert.

Adaption der Bettungsspannungen auf Eph / 1.000.

Erddruckbeiwerte kh

φ	α	β	δ	k0gh	kagh	kach	kpgh	kpch	
30.0	0.0	0.0	0.0	0.500	0.333	--	--	--	quartäre
20.0	0.0	0.0	0.0	0.658	0.490	1.400	2.040	-2.856	Frankfurter Ton
20.0	0.0	0.0	0.0	0.658	0.490	1.400	2.040	-2.856	Beton
20.0	0.0	0.0	0.0	0.658	0.490	1.400	2.040	-2.856	Frankfurter Ton

Wandlänge

Fußtiefe für Statik: $z_f = 46.200$

Statik

Erddruck, horizontal

Drücke charakteristisch, ohne Umlagerung, durchgehende Wand

100.20

94.00

88.17

83.00

61.20

53.20

46.20

z

eph,G+PG,k

eah,G,k

eah,PG,k

z [m]	eph, G, k [kN/m2]	eah, G, k [kN/m2]	eah, PG, k [kN/m2]	eah, d [kN/m2]
100.20		0.00		0.00
99.62		5.32	0.00	5.98
		5.32	14.18	21.94
93.27		60.18	18.77	88.81
		60.18	4.58	72.86
92.00		66.00	4.58	79.41
		83.06	6.16	100.38
83.00	-0.00	131.60	6.16	154.98
	-57.13	131.60	6.16	154.98
61.20	-467.49	252.48	6.16	290.97
	-4637.69	252.48	6.16	290.97
53.20	-4866.12	296.83	6.16	340.87
	-695.93	296.83	6.16	340.87
46.20	-824.43	335.65	6.16	384.54

Eph, G, k: -49163.46, Eph, PG, k: 0.00 [kN/m]

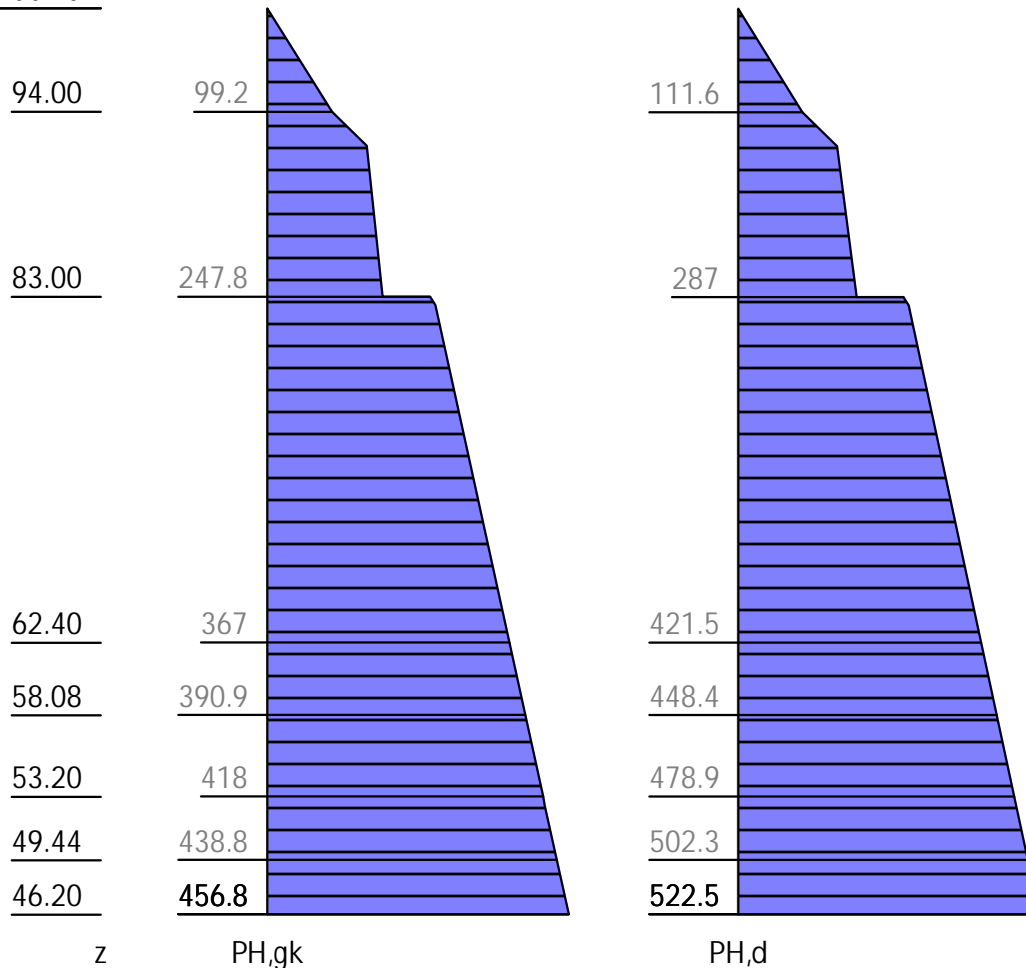
Eah, G, k: 9859.13, Eah, PG, k: 388.62, Eah, PQ, k: 0.00, Eah, d: 11528.72

Wasserdruck

z [m]	Wp, k [kN/m ²]	Wa, k [kN/m ²]	W, k [kN/m ²]
94.00		0.00	0.00
82.50	0.00	115.00	115.00
46.20	-363.00	478.00	115.00

H-Druck auf statisches System

Mobilisierungsgrad: Ep, gk 100, Ep, qk 100, Ep, d 100 [%]

100.20

z [m]	PH, gk [kN/m ²]	PH, d [kN/m ²]
100.20	0.00	0.00
83.00	175.60	205.80
	247.77	286.99
46.20	456.81	522.54

Schnittgrößen: Ständig, charakteristisch

z= 92.000. Fx=-2550.344 kN/m Abstützung

z= 61.061. Fx=-12533.155 kN/m Bettung

100.20

97.20

94.20

91.50

88.50

85.50

82.80

80.20

77.60

75.00

72.40

69.80

67.20

64.60

62.00

59.40

56.80

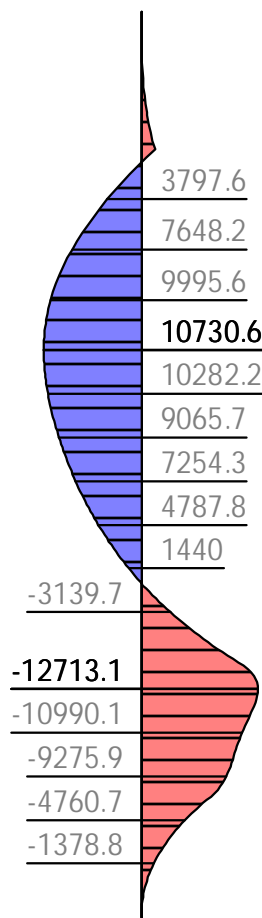
54.20

51.60

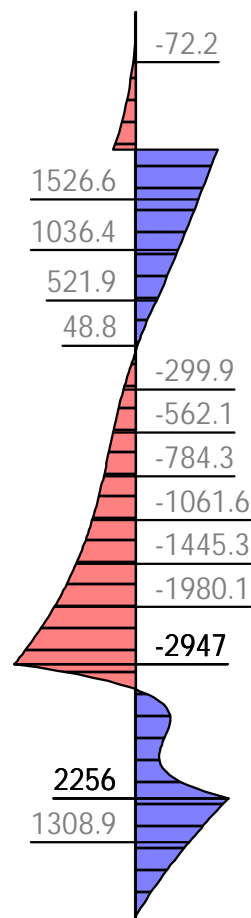
49.00

46.20

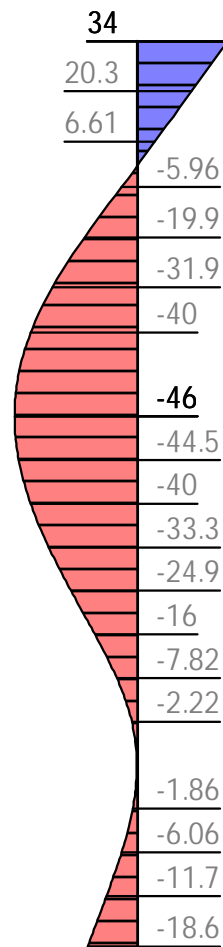
z



M, gk



V, gk



u, gk

z [m]	H, g, k [kN/m]	M, g, k [kNm/m]	V, g, k [kN/m]	N, g, k [kN/m]	u, g, k [mm]
100.20	0.00	0.00	-0.00	-0.00	34.02
92.77	131.15	-1100.55	-449.88	-371.46	0.00
92.00	151.19	-1483.58	-557.90	-410.00	-3.60
	151.19	-1483.58	1992.45	-410.00	-3.60
90.97	153.99	0.00	1824.17	-460.26	-8.46
83.00	175.60	9995.65	521.89	-770.00	-39.53
	247.77	9995.65	522.52	-770.00	-39.53
80.00	269.41	10730.65	32.81	-860.00	-44.89
79.78	270.62	10727.80	-0.00	-866.57	-45.11
77.80	281.60	10406.86	-288.06	-926.00	-46.04
66.09	346.51	-0.00	-1672.65	-1277.21	-20.44
61.30	373.09	-10825.82	-2947.03	-1421.00	-5.49
59.80	381.40	-12713.11	-6.90	-1466.00	-2.52
59.79	381.44	-12712.46	-0.00	-1466.18	-2.51
57.94	391.72	-11657.11	847.51	-1521.80	-0.62
53.30	417.44	-7391.35	2255.98	-1661.00	-3.38
46.22	456.68	-0.29	-0.00	-1873.27	-18.59
46.20	456.81	-0.00	-11.09	-1874.00	-18.65

Schnittgrößen: Design

z= 92.000. Fx=-2926.000 kN/m Abstützung

z= 61.095. Fx=-14405.618 kN/m Bettung

100.20

97.20

94.20

91.50

88.50

85.50

82.80

80.20

77.60

75.00

72.40

69.80

67.20

64.60

62.00

59.40

56.80

54.20

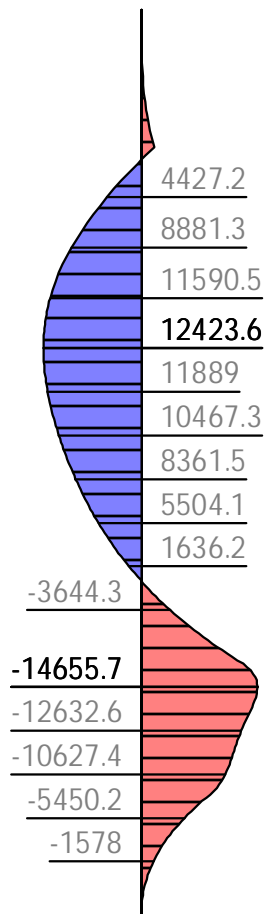
51.60

49.00

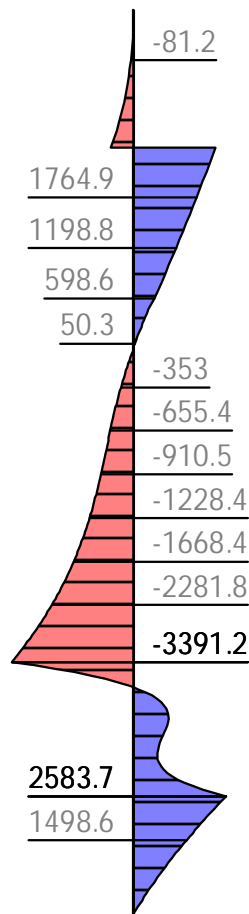
46.20

z

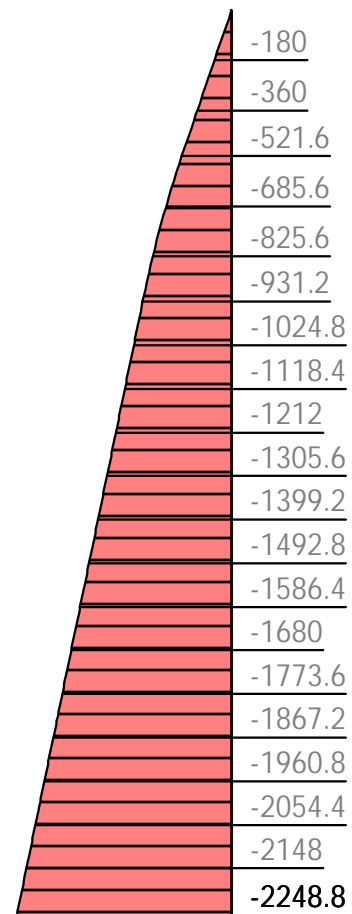
M,d

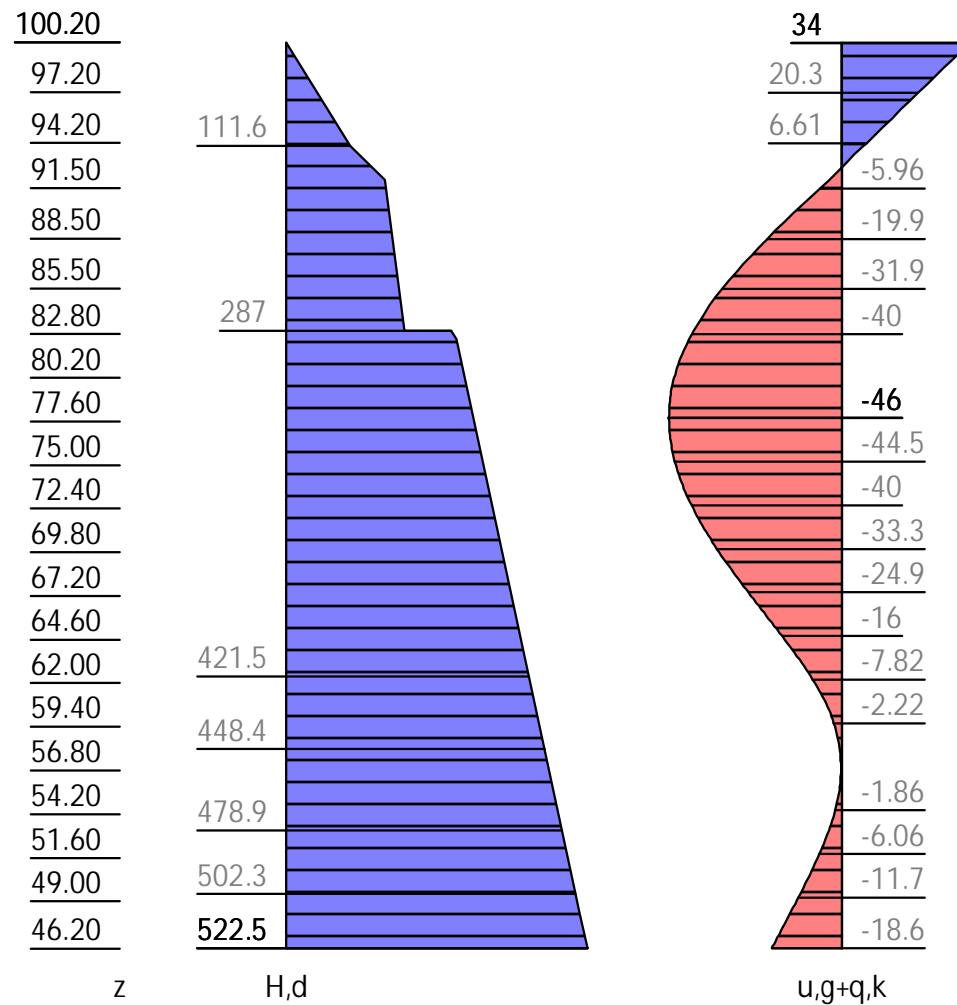


V,d



N,d





z [m]	H, d [kN/m]	M, d [kNm/m]	V, d [kN/m]	N, d [kN/m]	u, g+q, k [mm]
100.20	0.00	-0.00	0.00	0.00	34.02
100.20	0.00	-0.00	-0.00	0.00	34.02
92.77	148.47	-1238.38	-506.71	-445.75	0.00
92.00	171.59	-1670.03	-629.13	-492.00	-3.60
	171.59	-1670.03	2296.87	-492.00	-3.60
90.97	175.52	-0.00	2102.00	-552.47	-8.47
83.00	205.80	11590.50	598.61	-924.00	-39.53
	286.99	11590.50	599.34	-924.00	-39.53
80.00	311.71	12423.61	-1.47	-1032.00	-44.89
77.80	325.43	12035.51	-324.59	-1111.20	-46.04
66.10	398.38	0.00	-1926.41	-1532.23	-20.48
61.30	428.35	-12493.62	-3391.17	-1705.20	-5.49
59.80	437.70	-14655.71	-0.00	-1759.20	-2.52
57.94	449.31	-13438.58	992.17	-1826.16	-0.62
53.30	478.25	-8445.44	2583.73	-1993.20	-3.38
46.20	522.54	-0.00	-12.68	-2248.80	-18.65

Ankerkräfte mit Sicherheiten des BS-P

γ, G_{dst}	γ, EOG	γ, W	γ, G_{stb}	γ, Q_{dst}	γ, Q_{stb}	γ, ϕ	γ, coe	γ, cu
γ, g	γ, Rv	γ, Rh	γ, Re	γ, a_t	γ, a_p	γ, N	γ, Gt	γ, P
γ, Gap	$\gamma, Tilt$	$\gamma, Stbl$						
1.350	1.200	1.350	1.000	1.500	0.000	1.000	1.000	1.000
1.000	1.400	1.100	1.400	1.100	1.100	1.400	1.400	1.400
1.000	1.000	1.000						

Author: DB Netz AG / Ingenieurgemeinschaft Fernbahntunnel Frankfurt am Main	Job No.:
Program: WALLS-Retain.	Version 2020.191
Structure: Knoten Frankfurt,	ASB Nr.:
Date: 05.12.2020	

z [m]	A, d [kN]	Fx, d [kN/m]
92.00	3241.3	-3241.3

Bettung

z [m]	B [MN/m3]	B, adapt [MN/m3]	σB, gk [kN/m2]	σB-eph [kN/m2]	B*u [kN/m2]
83.00	0.00	0.00	0.00	57.13	-0.00
82.22	2.50	1.96	-81.66	-0.00	-80.98
75.00	4.88	4.84	-215.96	-1.78	-214.17
74.75	4.94	4.94	-218.71	0.00	-216.90
73.40	5.27	5.27	-221.32	22.23	-219.49
61.20	8.20	8.20	-43.46	424.04	-43.10
	600.00	600.00	-3179.86	1457.82	-3153.55
56.80	600.00	600.00	-219.70	4543.62	-217.88
53.20	600.00	600.00	-2137.87	2728.26	-2120.18
	10.20	10.20	-36.34	659.59	-36.04
53.00	10.25	10.25	-39.91	659.69	-39.58
46.20	11.90	11.90	-223.71	600.72	-221.86

Erdstatische Nachweise

Nachweis des Erdauflagers

Nachweis: Mobilisierbarer Erdwiderstand ist ausreichend für Erdauflagerkraft.

$\gamma, Re = 1.300 / 0.8 = 1.625$

$Rd = Eph, k/\gamma, Re = 49163.46 / 1.625 = 30254.44 \text{ [kN/m]}$

$Ed(APx, d)/Rd = 14405.62 / 30254.44 = 0.476 \text{ [-]}. \text{ Nachweis erfüllt}$

Summe der H- und V-Kräfte, (G)

Kräfte bis Tiefe z: 46.20

Pos.	H	V

H/V-Druck G+P+W, k	15083.50	
Wandgewicht		1859.00
H/V-Druck passiv		0.00
Abstützung z: 92.00	-2550.34	0.00
Bettung, g ($\delta, p=0.00^\circ$)	-12533.16	
Bettung, g ($\delta, C=0.00^\circ$)		0.00

Σ	-0.00	1859.00
		(nach unten)

Nachweis, EAB EB 9-1

Vertikal Komponente des Erdwiderstands ist geringer als die nach unten gerichteten Vertikalkräfte.

$Vk \geq Bvk: 1859.00 \geq -0.00 \text{ Nachweis erfüllt}$

Summe der H- und V-Kräfte, (G+Q)

Kräfte bis Tiefe z: 46.20

Pos.	H	V

H/V-Druck G+P+W, k	15083.50	
Wandgewicht		1859.00
H/V-Druck passiv		0.00
Abstützung z: 92.00	-2550.34	0.00
Bettung, g ($\delta, p=0.00^\circ$)	-12533.16	
Bettung, g ($\delta, C=0.00^\circ$)		0.00

Σ	-0.00	1859.00
		(nach unten)

Part: Fernbahntunnel inkl. Station unterhalb des Hbf Frankfurt/Main	Archive No.:
Block: Vorstatik, Schlitzwand in offene Bauweise, Machbarkeitsstudie, Anlage 1	Page: 37
Record:	

Author: DB Netz AG / Ingenieurgemeinschaft Fernbahntunnel Frankfurt am Main	Job No.:
Program: WALLS-Retain.	Version 2020.191
Structure: Knoten Frankfurt,	ASB Nr.:
Date: 05.12.2020	

Schicht "Frankfurter Ton" z: 53.20 / 46.20, h= 7.00m
 $Ed = \sum(\gamma_w \cdot h \cdot i) \cdot \gamma, H = 49.64 \cdot 1.900 = 94.31 \text{ (i=0.137)}$
 $Rd = \sum(\gamma \cdot h) \cdot \gamma, G, stb = 376.20 \cdot 0.950 = 357.39$
 $Ed/Rd = 0.264 \text{ [-]}$

Gleitkreisnachweis

LF: alle Lasten Typ: BS-P (Kombination: [GEO] A2+M2+R3, BS-P)

γ, G_{dst}	γ, EOG	γ, W	γ, G_{stb}	γ, Q_{dst}	γ, Q_{stb}	γ, ϕ	γ, coe	γ, cu
γ, g	γ, Rv	γ, Rh	γ, Re	γ, a_t	γ, a_p	γ, N	γ, Gt	γ, P
γ, Gap	$\gamma, Tilt$	$\gamma, Stbl$						
1.000	1.000	1.000	1.000	1.300	0.000	1.250	1.250	1.250
1.000	1.000	1.000	1.000	1.100	1.100	1.400	1.400	1.000
1.000	1.000	1.000						

Vertikale veränderliche Lasten wirken nur, falls sie ausserhalb $R \cdot \sin(\phi)$ liegen.
 Die autom. Gleitkreissuche berücksichtigt nur Kreise, die mit dem Gelände eine Schnittfläche von mindestens 0.25 m² haben.
 Die Gleitkreisberechnung erlaubt nur Kreise, die die Wand enthalten.
 Die Gleitkreisberechnung erlaubt nur kreisförmige Gleitlinien (keine Übergänge in vertikale Tangenten).

Kreisgeometrie (alle Längen- und Koordinatenangaben in [m])
 Mittelpunkt = (-2.81, 100.34), Radius = 54.22
 Startpunkt = (-54.19, 83.00), Endpunkt = (51.41, 100.20)

Lamellengeometrie:

Nr	x	Breite	dxM	Gewicht	Auflast	Wasser-	u*b	ϕ	c	θ
	[m]	b	[m]	[kN/m]	z-Ri.	auflast	[kN/m]	[°]	[kN/m ²]	[°]
1	-51.48	5.42	-48.66	677.3	0.0	0.0	-296.7	16.23	16.00	-36.88*
2	-46.05	5.42	-43.24	1583.9	0.0	0.0	-789.5	16.23	16.00	-36.88*
3	-40.63	5.42	-37.82	2216.6	0.0	0.0	-1129.5	16.23	16.00	-36.88*
4	-35.21	5.42	-32.40	2693.0	0.0	0.0	-1383.1	16.23	16.00	-36.69
5	-29.79	5.42	-26.97	3059.4	0.0	0.0	-1577.5	16.23	16.00	-29.83
6	-24.37	5.42	-21.55	3339.5	0.0	0.0	-1725.7	16.23	16.00	-23.42
7	-18.94	5.42	-16.13	3546.8	0.0	0.0	-1835.4	16.23	16.00	-17.31
8	-13.52	5.42	-10.71	3689.7	0.0	0.0	-1910.9	16.23	16.00	-11.39
9	-8.10	5.42	-5.29	3773.1	0.0	0.0	-1955.0	16.23	16.00	-5.59
10	-2.68	5.42	0.14	3811.1	0.0	0.0	-2280.8	16.23	16.00	0.14
11	2.75	5.42	5.56	5586.7	170.6	0.0	-2577.1	16.23	16.00	5.88
12	8.17	5.42	10.98	5500.4	54.2	0.0	-2531.5	16.23	16.00	11.68
13	13.59	5.42	16.40	5354.4	54.2	0.0	-2454.3	16.23	16.00	17.61
14	19.01	5.42	21.82	5143.7	54.2	0.0	-2342.8	16.23	16.00	23.73
15	24.43	5.42	27.25	4859.7	54.2	0.0	-2192.4	16.23	16.00	30.17
16	29.86	5.42	32.67	4488.4	54.2	0.0	-1995.5	16.23	16.00	37.05
17	35.28	5.42	38.09	4005.6	54.2	0.0	-1738.4	16.23	16.00	44.63
18	40.70	5.42	43.51	3363.0	54.2	0.0	-1392.8	16.23	16.00	53.37
19	47.41	8.00	50.22	3149.8	80.0	0.0	-879.8	16.23	16.00	67.86

*** Hinweis: Bei den mit '*' gekennzeichneten Lamellen wurde theta auf 45°-Phi/2 begrenzt.

Anteile vertikale Lasten:

Nr	Gewicht	$G \cdot \sin(\theta)$	$(G - u \cdot b) \cdot \tan(\phi) + c \cdot b$	$\mu \cdot \sin(\theta) \cdot \tan(\phi) + \cos(\theta)$	T
	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[-]	[kN/m]
1	677.32	-607.89	197.59	0.693258	285.02
2	1583.92	-1263.17	318.07	0.693258	458.80
3	2216.61	-1546.07	403.30	0.693258	581.75
4	2693.00	-1609.05	468.17	0.695744	672.90

Part: Fernbahntunnel inkl. Station unterhalb des Hbf Frankfurt/Main Block: Vorstatik, Schlitzwand in offene Bauweise, Machbarkeitsstudie, Anlage 1 Record:	Archive No.:
--	--------------

Author: DB Netz AG / Ingenieurgemeinschaft Fernbahntunnel Frankfurt am Main		Job No.:
Program: WALLS-Retain. Version 2020.191		
Structure: Knoten Frankfurt,		ASB Nr.:
		Date: 05.12.2020

Nr	Gewicht [kN/m]	$G \cdot \sin(\theta)$ [kN/m]	$(G - u \cdot b) \cdot \tan(\varphi) + c \cdot b$ [kN/m]	$\mu \cdot \sin(\theta) \cdot \tan(\varphi) + \cos(\theta)$ [-]	T [kN/m]
5	3059.41	-1522.04	518.26	0.779100	665.21
6	3339.47	-1327.42	556.63	0.847000	657.18
7	3546.82	-1055.16	585.08	0.901882	648.73
8	3689.71	-728.70	604.69	0.945224	639.73
9	3773.12	-367.86	616.14	0.977919	630.06
10	3811.12	9.55	532.34	1.000442	532.10
11	5757.29	590.16	1012.76	1.012940	999.82
12	5554.64	1124.85	967.03	1.015251	952.50
13	5408.66	1636.15	946.99	1.006880	940.52
14	5197.90	2092.19	918.08	0.986912	930.26
15	4913.89	2469.26	879.17	0.953831	921.73
16	4542.65	2736.97	828.42	0.905134	915.25
17	4059.82	2852.05	762.71	0.836460	911.83
18	3417.24	2742.36	676.22	0.739189	914.81
19	3229.74	2991.55	812.19	0.541431	1500.07
		-----			-----
		9217.73			14758.29

Beiträge aus Steifen:

Lage bei z= 92.00 m: $M_d = 21266.41 / 1.100 = 19333.10 \text{ kNm/m}$ (rückh.)

Summe abtreibende Beiträge aus Steifen $M_d = 0.0 \text{ kNm/m}$

Summe rückhaltende Beiträge aus Steifen $M_d = 19333.1 \text{ kNm/m}$

Einwirkung $E_d = (9217.7 \cdot 54.22)$

Widerstand $R_d = (14758.3 \cdot 54.22 + 19333.1)$

Gleitkreis $\mu = E_d / R_d = 0.61 < 1.0$: Nachweis erbracht.

Part: Fernbahntunnel inkl. Station unterhalb des Hbf Frankfurt/Main		Archive No.:
Block: Vorstatik, Schlitzwand in offene Bauweise, Machbarkeitsstudie, Anlage 1		
Record:	Page: 40	

Bauzustand: 4 "[4] Situation D"

LF: alle Lasten Typ: BS-T

[GEO] A1+M1+R2, BS-T

γ, G_{dst}	γ, EOG	γ, W	γ, G_{stb}	γ, Q_{dst}	γ, Q_{stb}	γ, ϕ	γ, coe	γ, cu
γ, g	γ, Rv	γ, Rh	γ, Re	γ, a_t	γ, a_p	γ, N	γ, Gt	γ, P
γ, Gap	$\gamma, Tilt$	$\gamma, Stbl$						
1.200	1.100	1.200	1.000	1.300	0.000	1.000	1.000	1.000
1.000	1.300	1.100	1.300	1.100	1.100	1.300	1.300	1.400
1.000	1.000	1.000						

Schichtsystem mit 4 Schichten

Name		quartäre Frankfurter Ton		Beton	Frankfurter Ton
γ	[kN/m3]	20		19	19
γ, R	[kN/m3]	20		19	19
γ'	[kN/m3]	10		9	9
γ, p	[kN/m3]	20		19	24
$\gamma, R, passi v$	[kN/m3]	20		19	24
γ, pw	[kN/m3]	10		9	14
ϕ	[°]	30		20	20
c	[kN/m2]	0		20	20
c, u	[kN/m2]	10		100	0
$c, passi v$	[kN/m2]	0		20	1500
δ, a	[°]	0		0	0
δ, p	[°]	0	-6.666667	-6.7	-6.666667
δ, c	[°]	10		0	0
τ, gr	[kN/m2]	110		110	130
Ψ, A, max	[°]	90		90	90
k	[cm/s]	10e-06		10e-06	10e-06

Gelände verl auf:

x [m] 0.00 0.00
z [m] 61.20 100.20

Verlauf Oberkante der 2. Schicht Frankfurter Ton:

x [m] 0.00 0.00
z [m] 61.20 92.00

Verlauf Oberkante der 3. Schicht Beton:

Kote z= 61.20

Verlauf Oberkante der 4. Schicht Frankfurter Ton:

Kote z= 53.20

Streifenlasten:

Lasten

xA	zA	xE	zE	PxA	PzA	PxE	PzE	Art	LF-Bezeichnung
[m]	[m]	[m]	[m]	[kN/m²]		Name
4.00	100.20	9999.99	100.20	0.00	10.00	0.00	10.00	g	1
1.00	100.20	4.00	100.20	0.00	52.00	0.00	52.00	g	1

Erddruckverteilung

Erddruckverteilung	Name
Schichtweise Rechteckig	
Schichtweise Rechteckig	

Verlauf des Grundwasserspiegels:

x [m]	0.00	0.00
z [m]	60.70	94.00

Abstützungen

z[m]	Al pha[°]	C-H[kN/m]	C-M[kN/m]
92.00	-180.00	708000.00	0.00
84.00	-180.00	708000.00	0.00

Berechnungsparameter

Erddruck Optionen

Erddruckansatz: Aktiver Erddruck mit Ruhedruckanteil 75% nach DIN 4085: 2011.

Gleitflächenwinkel: DIN 4085.

Abschnitte zur Unterteilung von Blocklasten: 1.

Erdruchdruck für Blocklasten nach Weissenbach, Konzentrationsfaktor $n=4$.

Erdruchdruck für Linienlasten: klassisch, dreiecksförmig.

Berücksichtigung des Mindesterdru cks: $\varphi_{\min} = 30.000$.

Negative Erddruckanteile werden zu Null gesetzt.

Erddruckumlagerung

Umlagerungsfigur: Dreiecksförmig (rechtwinklig zur Wand).

Der Erddruck wird umgelagert bis: Aushubsohle

Der Erddruck unter der Aushubkote wirkt ohne Umlagerung.

Koten der Umlagerung Z1: 92.000, Z2: 84.000 [m].

Der Erddruck aus veränderlichen Lasten wird mit umgelagert.

Passiver Erddruck

Berechnungsmethode: Klassisch, Pregl / Sokolovsky (DIN 4085).

Wasserdruckoptionen

Fußauflagerung

Fuß horizontal verschieblich

Wandfuß wird gebettet gelagert.

Adaption der Bettungsspannungen auf Eph / 1.000.

Erddruckbeiwerte kh

φ	α	β	δ	k0gh	kagh	kach	kpgh	kpch	
30.0	0.0	0.0	0.0	0.500	0.333	--	--	--	quartäre
20.0	0.0	0.0	0.0	0.658	0.490	1.400	--	--	Frankfurter Ton
20.0	0.0	0.0	-6.7	--	--	--	2.332	-3.234	Beton
20.0	0.0	0.0	0.0	0.658	0.490	1.400	--	--	"
20.0	0.0	0.0	-6.7	--	--	--	2.330	-3.233	Frankfurter Ton
20.0	0.0	0.0	0.0	0.658	0.490	1.400	--	--	"

Wandlänge

Fußtiefe für Statik: $z_f = 46.200$

Statik

Erddruck, horizontal

Drücke charakteristisch, ohne Umlagerung, durchgehende Wand

100.2094.0088.1761.2053.2046.20

z

eph,G+PG,k

eah,G,k

eah,PG,k

z [m]	eph, G, k [kN/m2]	eah, G, k [kN/m2]	eah, PG, k [kN/m2]	eah, d [kN/m2]
100.20		0.00		0.00
99.62		5.32	0.00	5.98
		5.32	14.18	21.94
93.27		60.18	18.77	88.81
		60.18	4.58	72.86
92.00		66.00	4.58	79.41
		83.06	6.16	100.38
61.20	-0.00	252.48	6.16	290.97
	-4851.52	252.48	6.16	290.97
53.20	-5124.34	296.83	6.16	340.87
	-337.31	296.83	6.16	340.87
46.20	-484.12	335.65	6.16	384.54

Eph, G, k: -42822.13, Eph, PG, k: 0.00 [kN/m]

Eah, G, k: 9859.13, Eah, PG, k: 388.62, Eah, PQ, k: 0.00, Eah, d: 11528.72

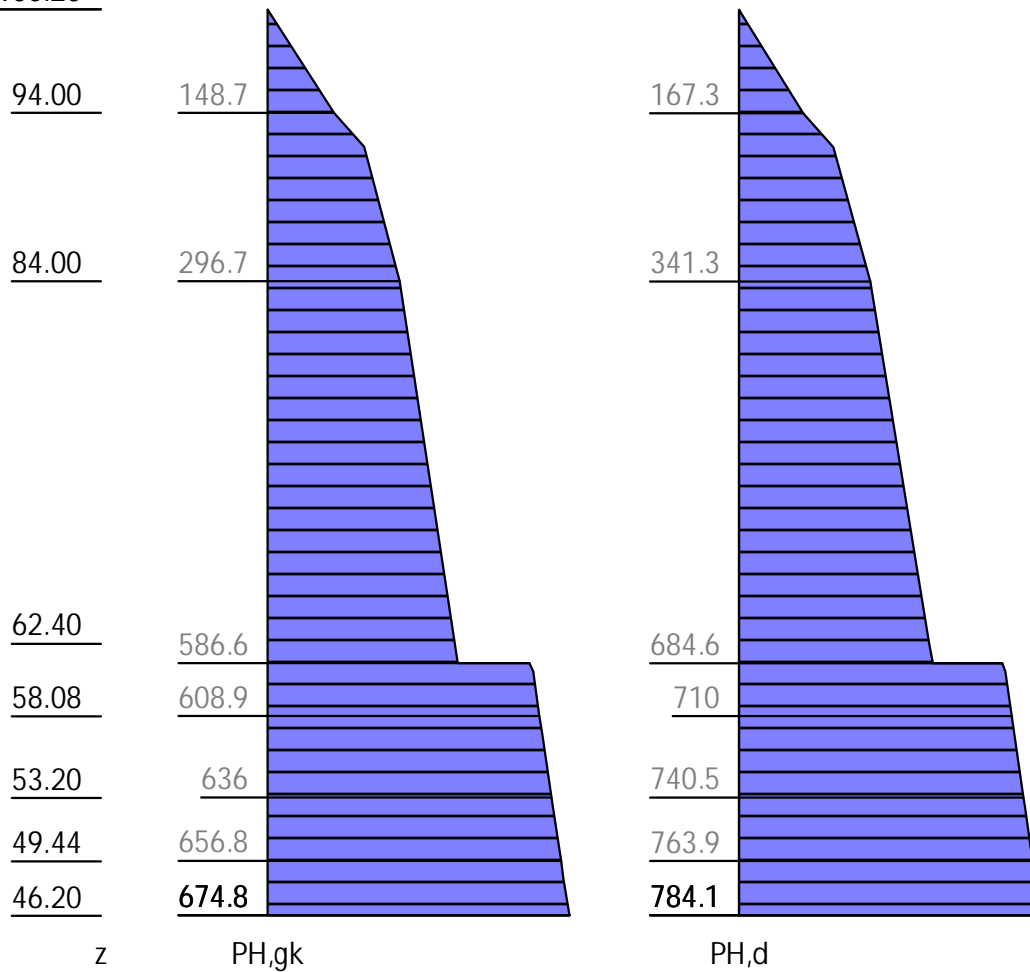
Wasserdruck

z [m]	Wp, k [kN/m ²]	Wa, k [kN/m ²]	W, k [kN/m ²]
94.00		0.00	0.00
60.70	0.00	333.00	333.00
53.20	-75.00	408.00	333.00
49.44	-112.60	445.60	333.00
46.20	-145.00	478.00	333.00

H-Druck auf statisches System

Mobilisierungsgrad: Ep,gk 100, Ep,qk 100, Ep,d 100 [%]

100.20



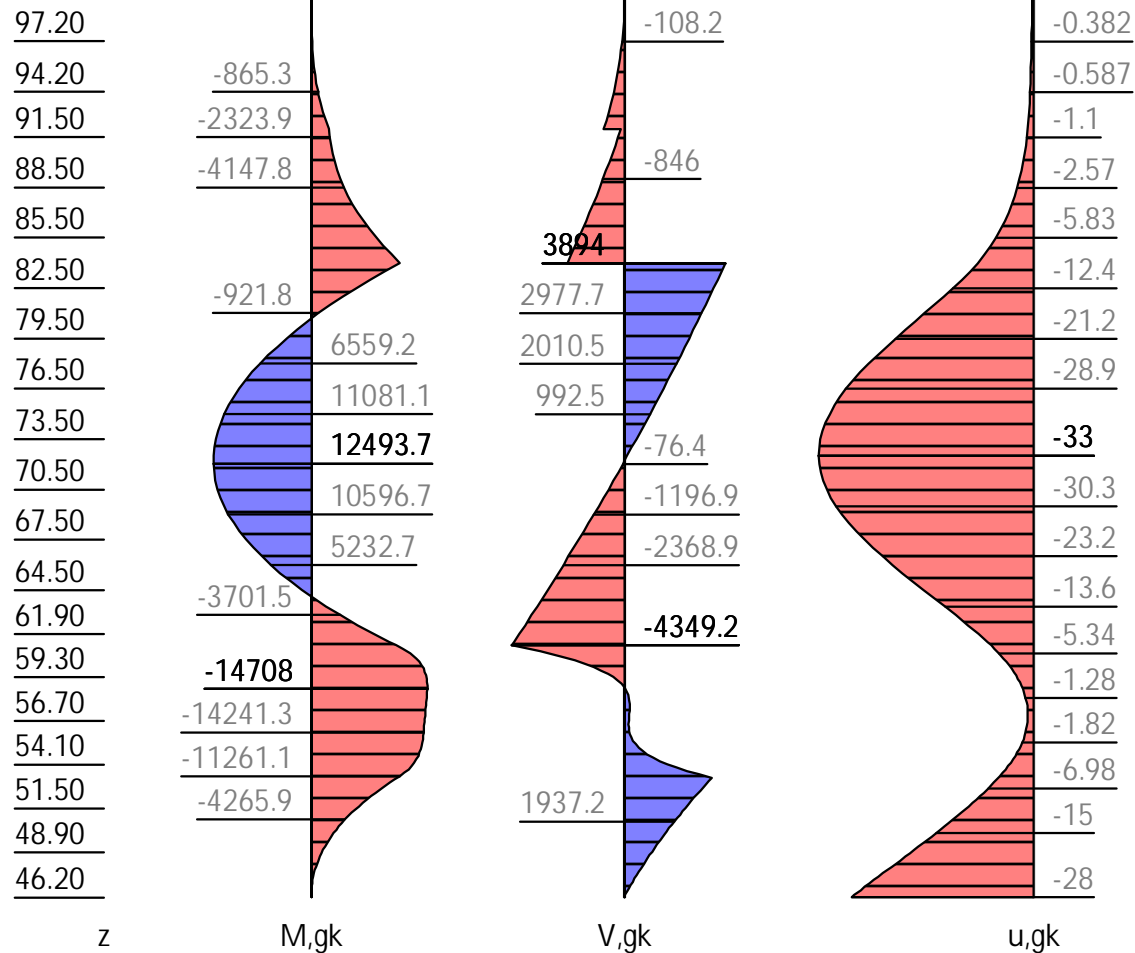
z [m]	PH, gk [kN/m ²]	PH, d [kN/m ²]
100.20	0.00	0.00
61.20	426.36	504.26
	586.64	684.57
46.20	674.81	784.14

Schnittgrößen: Ständig, charakteristisch

z= 92.000. Fx=-675.955 kN/m Abstützung

z= 84.000. Fx=-6098.405 kN/m Abstützung

z= 56.637. Fx=-13846.339 kN/m Bettung

100.20

z [m]	H, g, k [kN/m]	M, g, k [kNm/m]	V, g, k [kN/m]	N, g, k [kN/m]	u, g, k [mm]
100.20	0.00	0.00	-0.00	0.00	-0.24
92.00	216.72	-2217.96	-826.57	-410.00	-0.95
	216.72	-2217.96	-150.62	-410.00	-0.95
84.00	296.72	-11211.42	-2204.41	-810.00	-8.61
	296.72	-11211.42	3893.99	-810.00	-8.61
80.32	317.65	0.00	2563.43	-987.61	-18.81
73.23	357.96	12286.85	-0.00	-1294.70	-32.86
72.50	362.11	12459.23	-263.76	-1323.59	-32.98
72.00	364.96	12493.66	-444.53	-1343.28	-32.93
64.10	409.87	-0.00	-3300.67	-1621.53	-15.61
61.20	426.36	-10784.91	-4349.20	-1710.00	-6.60
	586.64	-10784.91	-4349.20	-1710.00	-6.60
58.67	605.66	-14707.18	-0.00	-1115.65	-1.80
58.60	606.06	-14708.05	30.48	-1108.81	-1.72
57.50	612.16	-14526.52	214.38	-1044.30	-1.00
53.30	635.44	-10924.72	3363.58	-508.35	-5.45
47.80	665.94	-465.42	610.96	-543.35	-22.48
46.22	674.67	-0.42	-0.00	-537.43	-27.91
46.20	674.81	0.00	-16.64	-537.24	-28.00

Schnittgrößen: Design

z= 92.000. Fx=-716.897 kN/m Abstützung

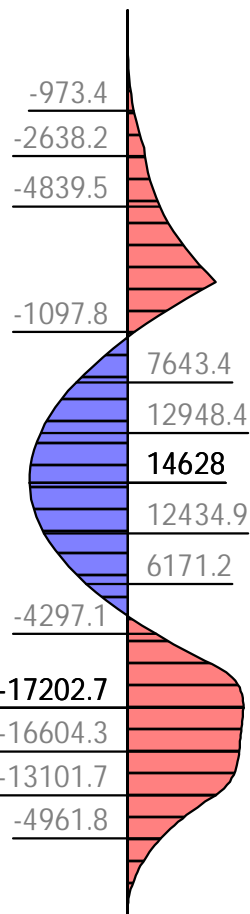
z= 84.000. Fx=-7092.008 kN/m Abstützung

z= 56.657. Fx=-16167.354 kN/m Bettung

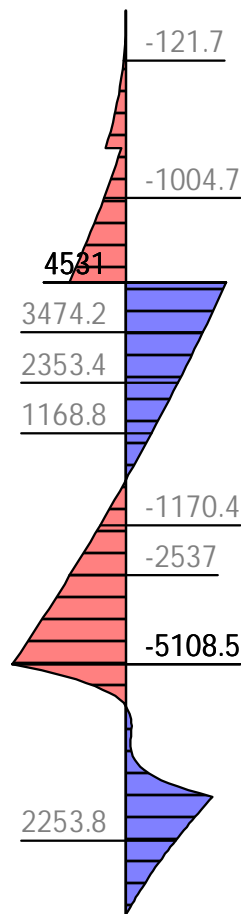
100.20**97.20****94.20****91.50****88.50****85.50****82.50****79.50****76.50****73.50****70.50****67.50****64.50****61.90****59.30****56.70****54.10****51.50****48.90****46.20**

z

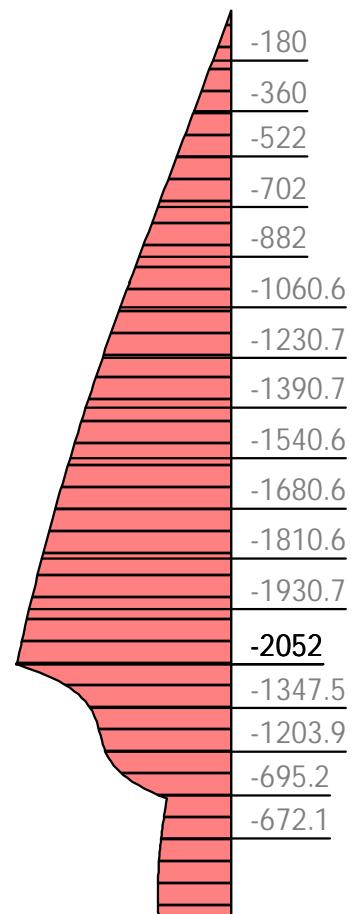
M,d



V,d



N,d



100.20

97.20

94.20

91.50

88.50

85.50

82.50

79.50

76.50

73.50

70.50

67.50

64.50

61.90

59.20

56.60

54.00

51.40

48.80

46.20

167.3

341.3

684.6

710

740.5

763.9

784.1

z

H,d

-0.382

-0.587

-1.1

-2.57

-5.83

-12.4

-21.2

-28.9

-33

-30.3

-23.2

-13.6

-5.34

-1.28

-1.82

-6.98

-15

-28

u,g+q,k

z [m]	H, d [kN/m]	M, d [kNm/m]	V, d [kN/m]	N, d [kN/m]	u, g+q, k [mm]
100.20	0.00	0.00	-0.00	0.00	-0.24
92.00	245.32	-2496.21	-931.39	-492.00	-0.95
	245.32	-2496.21	-214.50	-492.00	-0.95
84.00	341.32	-13086.26	-2561.02	-972.00	-8.61
	341.32	-13086.26	4530.99	-972.00	-8.61
80.32	367.64	-0.00	2973.77	-1185.26	-18.82
73.28	417.91	14349.05	0.00	-1551.06	-32.84
72.50	423.50	14582.90	-331.06	-1588.31	-32.98
72.00	427.07	14627.97	-542.45	-1611.94	-32.93
64.09	483.61	0.00	-3887.32	-1946.27	-15.57
61.20	504.26	-12644.77	-5108.54	-2052.00	-6.60
	684.57	-12644.77	-5108.54	-2052.00	-6.60
58.70	706.17	-17202.68	-0.41	-1358.64	-1.83
	706.17	-17202.68	-0.00	-1358.64	-1.83
58.60	706.79	-17202.72	50.41	-1347.47	-1.72
57.50	713.65	-16967.81	271.67	-1272.56	-1.00
53.30	739.85	-12710.23	3914.59	-655.42	-5.45
47.60	775.40	-411.14	765.66	-702.68	-23.17
46.20	784.14	-0.00	-19.33	-697.22	-28.00

Author: DB Netz AG / Ingenieurgemeinschaft Fernbahntunnel Frankfurt am Main		Job No.:
Program: WALLS-Retain. Version 2020.191		
Structure: Knoten Frankfurt,		ASB Nr.:
		Date: 05.12.2020

Ankerkräfte mit Sicherheiten des BS-P

γ, G_{dst}	γ, EOG	γ, W	γ, G_{stb}	γ, Q_{dst}	γ, Q_{stb}	γ, ϕ	γ, coe	γ, cu
γ, g	γ, Rv	γ, Rh	γ, Re	γ, a_t	γ, a_p	γ, N	γ, Gt	γ, P
γ, Gap	$\gamma, Tilt$	$\gamma, Stbl$						
1.350	1.200	1.350	1.000	1.500	0.000	1.000	1.000	1.000
1.000	1.400	1.100	1.400	1.100	1.100	1.400	1.400	1.400
1.000	1.000	1.000						

z [m]	A, d [kN]	Fx, d [kN/m]
92.00	771.2	-771.2
84.00	7893.7	-7893.7

Bettung

z [m]	B [MN/m3]	B, adapt [MN/m3]	σ_B, gk [kN/m2]	$\sigma_B\text{-eph}$ [kN/m2]	B*u [kN/m2]
61.20	600.00	600.00	-3864.46	987.06	-3957.98
57.00	600.00	600.00	-543.48	4456.81	-556.63
53.20	600.00	600.00	-3328.03	1796.31	-3408.58
	10.20	10.20	-56.58	280.73	-57.95
46.20	11.90	11.90	-325.19	158.93	-333.06

Erdstatische Nachweise

Nachweis des Erdauflagers

Nachweis: Mobilisierbarer Erdwiderstand ist ausreichend für Erdauflagerkraft.

$\gamma, Re = 1.300 / 0.8 = 1.625$

$Rd = Eph, k / \gamma, Re = 42822.13 / 1.625 = 26352.08 \text{ [kN/m]}$

$Ed(APx, d) / Rd = 16167.35 / 26352.08 = 0.614 [-]$. Nachweis erfüllt

Summe der H- und V-Kräfte, (G)

Kräfte bis Tiefe z: 46.20

Pos.	H	V
H/V-Druck G+P+W, k	20620.70	
Wandgewicht		2077.00
H/V-Druck passiv		0.00
Abstützung z: 92.00	-675.96	0.00
Abstützung z: 84.00	-6098.41	0.00
Bettung, g ($\delta, p=-6.68^\circ$)	-13846.34	-1622.76
Bettung, g ($\delta, C=0.00^\circ$)		0.00
Σ	-0.00	454.24 (nach unten)

Nachweis, EAB EB 9-1

Vertikal Komponente des Erdwiderstands ist geringer als die nach unten gerichteten Vertikalkräfte.

$Vk \geq Bvk: 2077.00 \geq 1622.76$ Nachweis erfüllt

Summe der H- und V-Kräfte, (G+Q)

Kräfte bis Tiefe z: 46.20

Pos.	H	V
H/V-Druck G+P+W, k	20620.70	
Wandgewicht		2077.00
H/V-Druck passiv		0.00
Abstützung z: 92.00	-675.96	0.00
Abstützung z: 84.00	-6098.41	0.00
Bettung, g ($\delta, p=-6.68^\circ$)	-13846.34	-1622.76

Part: Fernbahntunnel inkl. Station unterhalb des Hbf Frankfurt/Main	Archive No.:
Block: Vorstatik, Schlitzwand in offene Bauweise, Machbarkeitsstudie, Anlage 1	Page: 48
Record:	

Author: DB Netz AG / Ingenieurgemeinschaft Fernbahntunnel Frankfurt am Main	Job No.:
Program: WALLS-Retain. Version 2020.191	
Structure: Knoten Frankfurt,	ASB Nr.:
Date: 05.12.2020	

Pos.	H	V
Bettung, g ($\delta, C=0.00^\circ$)		0.00

Σ	-0.00	454.24 (nach unten)

Nachweis, EAB EB 9-1
 Vertikal komponente des Erdwiderstands ist geringer als die nach unten gerichteten Vertikal kräfte.

$V_k \geq B_v k: 2077.00 \geq 1622.76$ Nachweis erfüllt

Abtragung der Vertikalkräfte

Mantelreibung und Spitzendruck nach EAB EB 84 und EB 85

V	k [kN/m]	d [kN/m]
G+W, Upl :	2077.000	2492.400
Av, g:	0.000	0.000

Vd:	2492.400	

Einbindetiefe $t_0, s:$ 15.00 m (statisch notwendig)
 $t_0, r:$ 0.00 m (Rammtiefenzuschlag)
 $t_0 :$ 15.00 m
 $t_w = t_0 - 0.50$ $t_w :$ 14.50 m
 Mantelfläche $U_{r,p}:$ 1.00 m/m (passiv, entlang t_0)
 $U_{r,a}:$ 1.00 m/m
 Mantelreibung $q_r:$ 50.00 kN/m²
 Aufstandsfläche $A_b:$ 2.40 m²/m
 Spitztenwiderstand $q_s:$ 1500.00 kN/m²
 $\eta, t: \min(1, (t_0 - 0.5) / 2.50) = 1.00$
 Spitzendruck
 $R_{b,k}: A_b \cdot q_s \cdot \eta, t = 3600.00$ kN/m
 Mantelreibung
 $F_{mr}: U_{r,p} \cdot t_0 + U_{r,a} \cdot t_{0,r} = 15.00$ m²/m
 $Q_{mr}: F_{mr} \cdot q_r = 750.00$ kN/m
 Nachweis
 $V_d: 2492.40$ kN/m
 $R_d: (R_{b,k} + Q_{mr}) / \gamma_P$
 $(3600.00 + 750.00) / 1.750 = 2485.71$ kN/m

Ed/Rd: 1.003 [-]

 Alternativer Nachweis
 $R_d: R_{b,k} / \gamma_P + B_v k / \gamma_{Re}$
 $3600.00 / 1.750 + 1622.76 / 1.625 = 3055.76$ kN/m

Ed/Rd: 0.816 [-]

Nachweis erfüllt

Hydraulischer Grundbruch

Sicherheitsbeiwerte: [HYD]

$\gamma_G, stb:$ 0.950
 $\gamma_H:$ 1.900

Umströmte Länge $l_{ges} = 62.30$ m. $\Sigma(h_i / k_i) = 6230000.00 / 100s$.

Schicht "Beton" z: 60.70 / 53.20, $h = 7.50$ m
 $Ed = \Sigma(\gamma_W \cdot h_i) \cdot \gamma_H = 40.09 \cdot 1.900 = 76.17$ (i=0.535)
 $Rd = \Sigma(\gamma \cdot h) \cdot \gamma_G, stb = 114.50 \cdot 0.950 = 108.77$

Ed/Rd = 0.700 [-]

Part: Fernbahntunnel inkl. Station unterhalb des Hbf Frankfurt/Main Block: Vorstatik, Schlitzwand in offene Bauweise, Machbarkeitsstudie, Anlage 1 Record:	Page: 49 Archive No.:
--	--------------------------

Author: DB Netz AG / Ingenieurgemeinschaft Fernbahntunnel Frankfurt am Main

Job No.:

Program: WALLS-Retain.

Version 2020.191

Structure: Knoten Frankfurt,

ASB Nr.:

Date: 05.12.2020

Schicht "Frankfurter Ton" z: 53.20 / 46.20, h= 7.00m

$Ed = \sum(\gamma W \cdot h \cdot i) \cdot \gamma, H = 77.50 \cdot 1.900 = 147.26$ (i=0.535)

$Rd = \sum(\gamma \cdot h) \cdot \gamma, G, stb = 177.50 \cdot 0.950 = 168.63$

$Ed/Rd = 0.873$ [-]

Anker- und Steifenkräfte über alle Bauzustände

z [m]	α [°]	a [m]	l_{max} [m]	Ahgk [kN/m]	Ahqk [kN/m]	Ahd [kN/m]	Ak [kN]	Ad [kN]
84.00	-180.0	1.00	1.00	-6098.4	0.0	-7893.7	6098.4	7893.7
92.00	-180.0	1.00	16.99	-2550.3	0.0	-3241.3	2550.3	3241.3
99.50	-180.0	1.00	1.00	-981.9	0.0	-1232.4	981.9	1232.4

Part: Fernbahntunnel inkl. Station unterhalb des Hbf Frankfurt/Main

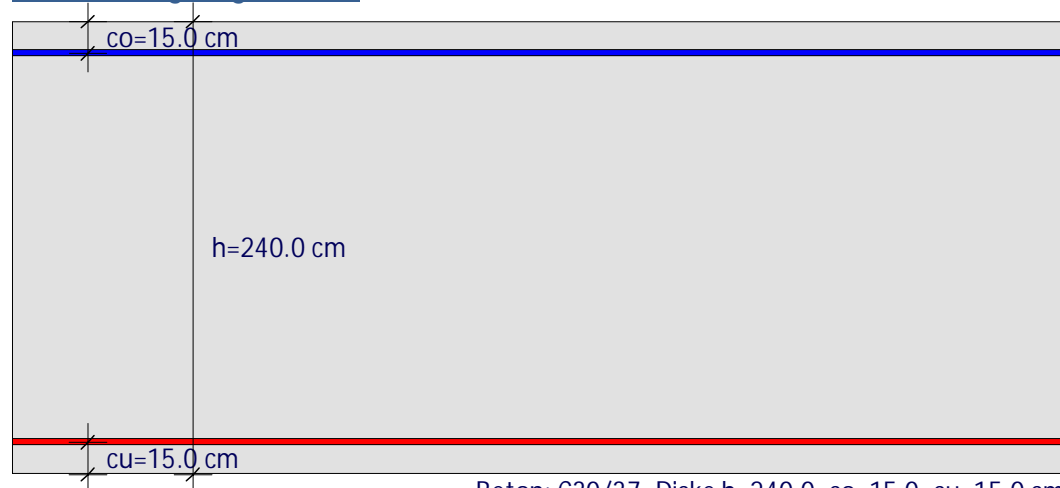
Block: Vorstatik, Schlitzwand in offene Bauweise, Machbarkeitsstudie, Anlage 1

Page: 50

Record:

Archive No.:

Anlage 2: Bemessung der Schlitzwand

Bemessungsergebnisse

Vorstatik, Schlitzwand in offene Bauweise, Machbarkeitsstudie, Anlage 2

Bemessung der Schlitzwand

Betonbemessung nach DIN EN 1992-1-1. Material C30/37, B500M

$EI = 37827.73 \text{ MNm}^2$ (je 1 fm Wand)

Anforderungsklasse:

Klasse C

Bauwerk:

Hochbau, Ingenieurhochbau

Bauteil:

Balken/Rechteck

Expositionsklassen:

XC=keine

XD=keine

XS=keine

GzT-Nachweis:

Mindestlängsbewehrung

Nein

Mindestquerkraftbewehrung

Nein

Bemessung der Wand als Druckglied

Nein

GzG-Nachweis:

Rissweitenbeschränkung wird nicht nachgewiesen.

Schnittgrößen im GzT/GzG, Einflussbereich $a=1.00 \text{ [m]}$:

z [m]	design [kN, m]	rare [kN, m]	freq [kN, m]	perm [kN, m]	gk [kN, m]	qk Stage
58.6 M	-17202.72	-14708.05	-14708.05	-14708.05	-14708.05	0.00 4
N	-1347.47	-1108.81	-1108.81	-1108.81	-1108.81	0.00
V	50.20	30.48	30.48	30.48	30.48	0.00
72.0 M	14627.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00 4
N	-1611.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	-79.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61.2 M	-12611.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00 4
N	-2052.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	5108.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Author: DB Netz AG / Ingenieurgemeinschaft Fernbahntunnel Frankfurt am Main						Job No.:		
Program: WALLS Bemessung								
Structure: Knoten Frankfurt,				ASB Nr.:		Date: 05.12.2020		
Erforderliche Längsbewehrung im GzT:								
z	as1	as2	epsS	epsC	zi	Stage		
[m]	[cm2/m]	[cm2/m]	[o/oo]	[o/oo]	[m]			

58.6	0.00	187.12	7.93	-3.50	1.96	4		
72.0	150.27	0.00	9.81	-3.50	2.00	4		
61.2	0.00	120.11	11.41	-3.50	2.03	4		
Erforderliche Schubbewehrung im GzT:								
z	asw	Vsd	VRdct	VRdmax	VRd, s	rho	theta	Stage
[m]	[cm2/m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[%]	[°]	

58.6	9.27	50.20	1004.98	12515.55	791.24	0.039	45.0	4
72.0	9.27	-79.76	974.57	12773.46	807.55	0.039	45.0	4
61.2	32.87	5108.54	967.00	11115.03	5108.54	0.137	29.6	4
Maximum der ermittelten Bewehrungsmengen:								
	z	as	gewähl t					
	[m]	[cm2/m]						

as1 (Luft):	72.0	150.27						
as2 (Erde):	58.6	187.12						
asw:	61.2	32.87						

Anlage 3: Bemessung der Steifen bei +99,5 mNN

Position: BTII+-003n

Biegetorsionstheorie BTII+ 02/2020 (FRILO R-2020-2/P12)

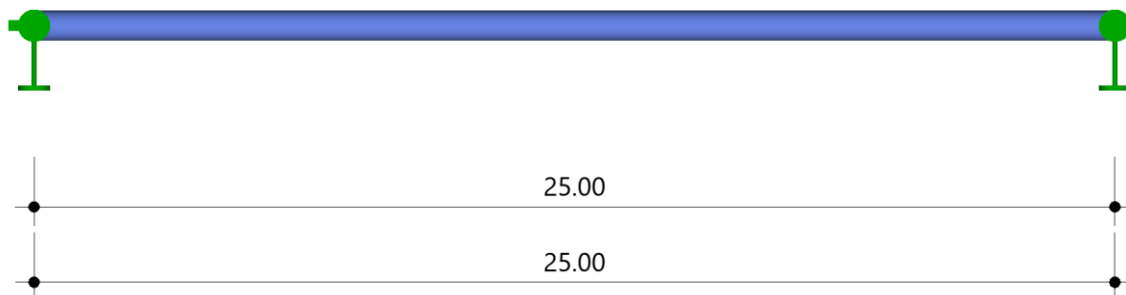
Grundparameter

Bemessungsnorm	:	DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
Kombination ständiger Lasten	:	untereinander mit $\gamma_{G,sup}$ und $\gamma_{G,inf}$
Querschnittsbemessung	:	plastisch
Systemtragfähigkeit	:	Ersatzstabnachweis
Stabilitätsnachweis nach	:	6.3.3 - Anhang B
Schubspannungen infolge primärer Torsion	:	berücksichtigt
Schubspannungen infolge sekundärer Torsion	:	berücksichtigt
Nachweis Absolutverformung in y mit δ_{lim}	=	1.5 cm
Nachweis Absolutverformung in z mit δ_{lim}	=	2.5 cm

System

Stabzug

Maßstab 1 : 175



Gesamtlänge = 25.00 m

Material S355

Querschnitte

Statische Werte

Nr	Name	I_y [cm ⁴]	I_z [cm ⁴]	I_t [cm ⁴]	I_w [cm ⁶]	\max_w [cm ²]	A [cm ²]
5	H700/tw50/bo0/bu0	542415.6	542415.6	1084831.2	0	0.0	1021.0

Abmessungen

Querschnitt Nr. 5 - H700/tw50/bo0/bu0

Durchmesser/Wandung d = 700 mm s = 50 mm

Fertigungsprozess warm

Spannungspunkte

Nr	Punkt	O-Punkt		S-Punkt		M-Punkt		Verwölbung
Name		V_o [mm]	Z_o [mm]	V_s [mm]	Z_s [mm]	V_M [mm]	Z_M [mm]	ω [cm ²]
5 H700/tw50/bo0/bu0	1	0	-350	0	-350	0	-350	0.0
	2	-134	-323	-134	-323	-134	-323	0.0
	3	-247	-247	-247	-247	-247	-247	0.0
	4	-323	-134	-323	-134	-323	-134	0.0
	5	-350	0	-350	0	-350	0	0.0
	6	-323	134	-323	134	-323	134	0.0
	7	-247	247	-247	247	-247	247	0.0

Nr	Punkt	O-Punkt		S-Punkt		M-Punkt		Verwölbung
Name		y _O [mm]	z _O [mm]	y _S [mm]	z _S [mm]	y _M [mm]	z _M [mm]	ω [cm ²]
	8	-134	323	-134	323	-134	323	0.0
	9	0	350	0	350	0	350	0.0
	10	134	323	134	323	134	323	0.0
	11	247	247	247	247	247	247	0.0
	12	323	134	323	134	323	134	0.0
	13	350	0	350	0	350	0	0.0
	14	323	-134	323	-134	323	-134	0.0
	15	247	-247	247	-247	247	-247	0.0
	16	134	-323	134	-323	134	-323	0.0

System: 1 Abschnitte, Gesamtlänge = 25.00 m

Nr	von x [m]	bis x [m]	Länge [m]	Querschnitt [Nr. Anfang]	Querschnitt [Nr. Ende]
1	0.00	25.00	25.00	5	5

Auflager

Lagerbedingungen - Verschiebung

Nr	x [m]	Verschiebungen ^{*)}		Abstände	
		v [kN/m]	w [kN/m]	y [mm]	z [mm]
1	0.00	-1	-1	0	0
2	25.00	-1	-1	0	0

^{*)}-1 = starr, 0 = frei, > 0 = elastisch

Lagerbedingungen - Verdrehungen

Nr	x [m]	Verdrehungen ^{*)}			Verwölbung ^{*)}
		Φ _x [kNm/rad]	Φ _y [kNm/rad]	Φ _z [kNm/rad]	Ω _{y,z} [kNm ³]
1	0.00	-1	0.0	0.0	0.00
2	25.00	0.0	0.0	0.0	0.00

^{*)}-1 = starr, 0 = frei, > 0 = elastisch

Belastung

Lastdefinitionen

Art 1 =	Gleichlast	kN/m	5 =	Dreieckslast über l	kN/m
2 =	Einzellast	kN	6 =	Trapezlast über l	kN/m
3 =	Einzelmoment	kNm	7 =	Bereichstorsionsmoment	kNm/m
4 =	Trapezlast	kN/m	8 =	Normalkraftverlauf	kN/m

Lastfall 1: ständige Lasten

Art	in/um	Pli	a [m]	Pre	l [m]	ey [mm]	ez [mm]	Bemerkungen zur Last
8	x	4900.0	0.00	4900.0	25.00	0	0	Last
3	y	-575.00	0.00					

Einwirkungsgruppe 99 - ständig
Eigengewicht wird automatisch angesetzt

Lastfall 2: Zusatzlastfall

Art	in/um	Pli	a [m]	Pre	l [m]	ey [mm]	ez [mm]	Bemerkungen zur Last
1	z	5.00				0	0	Last

Einwirkungsgruppe 1 - Kat. A: Wohngebäude

Berechnung nach DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08

Überlagerung 1: 1.35*G + 1.5*Q

Überlagerungsfaktoren

Nr	Lastfall	γ
1	ständige Lasten	1.35

Bemessungswerte der Schnittgrößen für die maßgebende Laststellung nach Theorie I. Ordnung

x [m]	$N_{x,Ed}$ [kN]	$V_{z,Ed}$ [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	$V_{y,Ed}$ [kN]	$M_{z,Ed}$ [kNm]	M_{tp} [kNm]	M_{ts} [kNm]	$M_{t,Ed}$ [kNm]	$M_{\omega,Ed}$ [kNcm ²]
0.00	-6615.0	104.2	776.25	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
9.75	-6615.0	-1.3	1277.93	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
	-6615.0	-1.3	1277.93	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
11.75	-6615.0	-22.9	1253.70	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
24.75	-6615.0	-163.6	41.24	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
25.00	-6615.0	-166.3	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0

Querschnittsnachweis nach Gleichung 6.2 - Theorie I. Ordnung $\gamma_{M0} = 1.00$

x [m]	Qkl	η_N	η_{Vz}	η_{My}	η_{Vy}	η_{Mz}	η_{MyMz}	η_{Mx}	η_{Mw}	η
0.00	1	0.19	0.01	0.11	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.30
9.75	1	0.19	0.00	0.18	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.37
11.75	1	0.19	0.00	0.18	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.37
25.00	1	0.19	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19

Ersatzstabnachweise

Stabilitätsnachweis Biegung ohne/mit Normalkraft (Gl. 6.61)

$$N_{Ed} / (\chi_y \cdot N_{Rd}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed} / (\chi_{it} \cdot M_{y,Rd}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed} / M_{z,Rd} = 0.76$$

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= 6615.0 \text{ kN} & N_{Rk} &= 36246.1 \text{ kN} \\ N_{cr,y} &= 17987.5 \text{ kN} \\ s_{ky} &= 25.00 \text{ m} \\ \lambda_y &= 1.42 \\ \chi_y &= 0.41 \\ k_{yy} &= 1.37 & k_{yz} &= 0.00 \\ M_{y,Ed} &= 1277.93 \text{ kNm} & M_{z,Ed} &= 0.00 \text{ kNm} \\ M_{cr} &= 88235.48 \text{ kNm} \\ \chi_{it} &= 1.00 \\ M_{y,Rk} &= 7079.90 \text{ kNm} & M_{z,Rk} &= 7079.90 \text{ kNm} \\ \gamma_{M1} &= 1.10 \end{aligned}$$

Nachweis bei x = 9.75 m nach Gl. (6.61) erfüllt.

Stabilitätsnachweis Biegung ohne/mit Normalkraft (Gl. 6.62)

$$N_{Ed} / (\chi_z \cdot N_{Rd}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed} / (\chi_{it} \cdot M_{y,Rd}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed} / M_{z,Rd} = 0.65$$

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= 6615.0 \text{ kN} & N_{Rk} &= 36246.1 \text{ kN} \\ N_{cr,z} &= 17987.5 \text{ kN} \\ s_{kz} &= 25.00 \text{ m} \\ \lambda_z &= 1.42 \\ \chi_z &= 0.41 \\ k_{zy} &= 0.82 & k_{zz} &= 0.00 \\ M_{y,Ed} &= 1277.93 \text{ kNm} & M_{z,Ed} &= 0.00 \text{ kNm} \\ M_{cr} &= 88235.48 \text{ kNm} \\ \chi_{it} &= 1.00 \\ M_{y,Rk} &= 7079.90 \text{ kNm} & M_{z,Rk} &= 7079.90 \text{ kNm} \\ \gamma_{M1} &= 1.10 \end{aligned}$$

Nachweis bei x = 9.75 m nach Gl. (6.62) erfüllt.

Zusammenfassung aller Berechnungsergebnisse

Auslastung - Tragsicherheit

Nr	Lastkombination	Querschnitt	Stabilität
1	1.35*G + 1.5*Q	0.37	0.76

Anlage 4: Bemessung der Steifen bei +92,0 mNN

Position: BTII+-004n

Biegetorsionstheorie BTII+ 02/2020 (FRILO R-2020-2/P12)

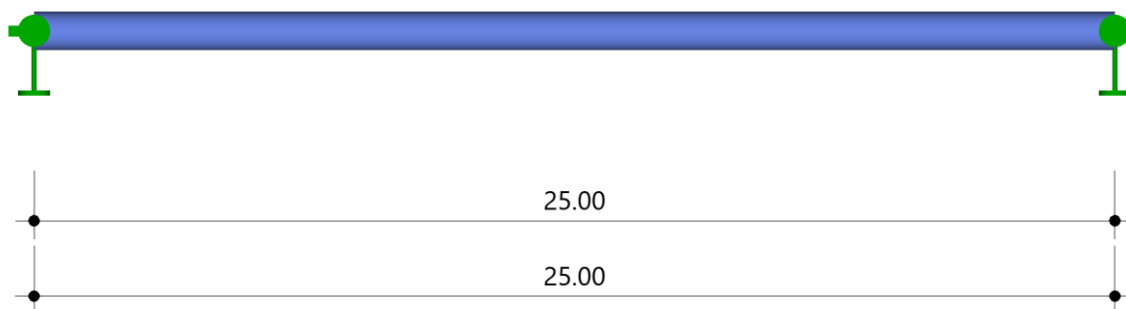
Grundparameter

Bemessungsnorm	:	DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
Kombination ständiger Lasten	:	untereinander mit $\gamma_{G,sup}$ und $\gamma_{G,inf}$
Querschnittsbemessung	:	plastisch
Systemtragfähigkeit	:	Ersatzstabnachweis
Stabilitätsnachweis nach	:	6.3.3 - Anhang B
Schubspannungen infolge primärer Torsion	:	berücksichtigt
Schubspannungen infolge sekundärer Torsion	:	berücksichtigt
Nachweis Absolutverformung in y mit δ_{lim}	=	1.5 cm
Nachweis Absolutverformung in z mit δ_{lim}	=	2.5 cm

System

Stabzug

Maßstab 1 : 175



Gesamtlänge = 25.00 m

Material S355

Querschnitte

Statische Werte

Nr	Name	I_y [cm ⁴]	I_z [cm ⁴]	I_t [cm ⁴]	I_w [cm ⁶]	max _w [cm ²]	A [cm ²]
6	H900/tw60/bo0/bu0	1403651.0	1403651.0	2807302.1	0	0.0	1583.4

Abmessungen

Querschnitt Nr. 6 - H900/tw60/bo0/bu0

Durchmesser/Wandung d = 900 mm s = 60 mm

Fertigungsprozess warm

Spannungspunkte

Nr	Punkt	O-Punkt		S-Punkt		M-Punkt		Verwölbung
Name		y _O [mm]	z _O [mm]	y _S [mm]	z _S [mm]	y _M [mm]	z _M [mm]	ω [cm ²]
6 H900/tw60/bo0/bu0	1	0	-450	0	-450	0	-450	0.0
	2	-172	-416	-172	-416	-172	-416	0.0
	3	-318	-318	-318	-318	-318	-318	0.0
	4	-416	-172	-416	-172	-416	-172	0.0
	5	-450	0	-450	0	-450	0	0.0
	6	-416	172	-416	172	-416	172	0.0
	7	-318	318	-318	318	-318	318	0.0

Nr	Punkt	O-Punkt		S-Punkt		M-Punkt		Verwölbung
Name		y _O [mm]	z _O [mm]	y _S [mm]	z _S [mm]	y _M [mm]	z _M [mm]	ω [cm ²]
	8	-172	416	-172	416	-172	416	0.0
	9	0	450	0	450	0	450	0.0
	10	172	416	172	416	172	416	0.0
	11	318	318	318	318	318	318	0.0
	12	416	172	416	172	416	172	0.0
	13	450	0	450	0	450	0	0.0
	14	416	-172	416	-172	416	-172	0.0
	15	318	-318	318	-318	318	-318	0.0
	16	172	-416	172	-416	172	-416	0.0

System: 1 Abschnitte, Gesamtlänge = 25.00 m

Nr	von x [m]	bis x [m]	Länge [m]	Querschnitt [Nr. Anfang]	Querschnitt [Nr. Ende]
1	0.00	25.00	25.00	6	6

Auflager

Lagerbedingungen - Verschiebung

Nr	x [m]	Verschiebungen ^{*)}		Abstände	
		v [kN/m]	w [kN/m]	y [mm]	z [mm]
1	0.00	-1	-1	0	0
2	25.00	-1	-1	0	0

^{*)}-1 = starr, 0 = frei, > 0 = elastisch

Lagerbedingungen - Verdrehungen

Nr	x [m]	Verdrehungen ^{*)}			Verwölbung ^{*)}
		Φ _x [kNm/rad]	Φ _y [kNm/rad]	Φ _z [kNm/rad]	Ω _{y,z} [kNm ³]
1	0.00	-1	0.0	0.0	0.00
2	25.00	0.0	0.0	0.0	0.00

^{*)}-1 = starr, 0 = frei, > 0 = elastisch

Belastung

Lastdefinitionen

Art 1 =	Gleichlast	kN/m	5 =	Dreieckslast über l	kN/m
2 =	Einzellast	kN	6 =	Trapezlast über l	kN/m
3 =	Einzelmoment	kNm	7 =	Bereichstorsionsmoment	kNm/m
4 =	Trapezlast	kN/m	8 =	Normalkraftverlauf	kN/m

Lastfall 1: ständige Lasten

Art	in/um	Pli	a [m]	Pre	l [m]	ey [mm]	ez [mm]	Bemerkungen zur Last
8	x	12750.0	0.00	12750.0	25.00	0	0	Last
3	y	-1912.00	0.00					

Einwirkungsgruppe 99 - ständig
Eigengewicht wird automatisch angesetzt

Lastfall 2: Zusatzlastfall

Art	in/um	Pli	a [m]	Pre	l [m]	ey [mm]	ez [mm]	Bemerkungen zur Last
1	z	5.00				0	0	Last

Einwirkungsgruppe 1 - Kat. A: Wohngebäude

Berechnung nach DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08

Überlagerung 1: 1.35*G + 1.5*Q

Überlagerungsfaktoren

Nr	Lastfall	γ
1	ständige Lasten	1.35

Bemessungswerte der Schnittgrößen für die maßgebende Laststellung nach Theorie I. Ordnung

x [m]	$N_{x,Ed}$ [kN]	$V_{z,Ed}$ [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	$V_{y,Ed}$ [kN]	$M_{z,Ed}$ [kNm]	M_{tp} [kNm]	M_{ts} [kNm]	$M_{t,Ed}$ [kNm]	$M_{\omega,Ed}$ [kNcm ²]
0.00	-17212.5	106.5	2581.20	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
6.25	-17212.5	1.6	2919.08	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
	-17212.5	1.6	2919.08	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
11.50	-17212.5	-86.5	2696.37	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
24.75	-17212.5	-308.8	77.72	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
25.00	-17212.5	-313.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0

Querschnittsnachweis nach Gleichung 6.2 - Theorie I. Ordnung $\gamma_{M0} = 1.00$

x [m]	Qkl	η_N	η_{Vz}	η_{My}	η_{Vy}	η_{Mz}	η_{MyMz}	η_{Mx}	η_{Mw}	η
0.00	1	0.32	0.01	0.18	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.51
6.25	1	0.32	0.00	0.21	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.53
11.50	1	0.32	0.00	0.19	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.51
25.00	1	0.32	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32

Ersatzstabnachweise

Stabilitätsnachweis Biegung ohne/mit Normalkraft (Gl. 6.61)

$$N_{Ed} / (\chi_y \cdot N_{Rd}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed} / (\chi_{it} \cdot M_{y,Rd}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed} / M_{z,Rd} = 0.89$$

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= 17212.5 \text{ kN} & N_{Rk} &= 56209.4 \text{ kN} \\ N_{cr,y} &= 46547.7 \text{ kN} \\ s_{ky} &= 25.00 \text{ m} \\ \lambda_y &= 1.10 \\ \chi_y &= 0.60 \\ k_{yy} &= 1.45 & k_{yz} &= 0.00 \\ M_{y,Ed} &= 2919.08 \text{ kNm} & M_{z,Ed} &= 0.00 \text{ kNm} \\ M_{cr} &= 245953.22 \text{ kNm} \\ \chi_{it} &= 1.00 \\ M_{y,Rk} &= 14184.78 \text{ kNm} & M_{z,Rk} &= 14184.78 \text{ kNm} \\ \gamma_{M1} &= 1.10 \end{aligned}$$

Nachweis bei x = 6.25 m nach Gl. (6.61) erfüllt.

Stabilitätsnachweis Biegung ohne/mit Normalkraft (Gl. 6.62)

$$N_{Ed} / (\chi_z \cdot N_{Rd}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed} / (\chi_{it} \cdot M_{y,Rd}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed} / M_{z,Rd} = 0.76$$

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= 17212.5 \text{ kN} & N_{Rk} &= 56209.4 \text{ kN} \\ N_{cr,z} &= 46547.7 \text{ kN} \\ s_{kz} &= 25.00 \text{ m} \\ \lambda_z &= 1.10 \\ \chi_z &= 0.60 \\ k_{zy} &= 0.87 & k_{zz} &= 0.00 \\ M_{y,Ed} &= 2919.08 \text{ kNm} & M_{z,Ed} &= 0.00 \text{ kNm} \\ M_{cr} &= 245953.22 \text{ kNm} \\ \chi_{it} &= 1.00 \\ M_{y,Rk} &= 14184.78 \text{ kNm} & M_{z,Rk} &= 14184.78 \text{ kNm} \\ \gamma_{M1} &= 1.10 \end{aligned}$$

Nachweis bei x = 6.25 m nach Gl. (6.62) erfüllt.

Zusammenfassung aller Berechnungsergebnisse

Auslastung - Tragsicherheit

Nr	Lastkombination	Querschnitt	Stabilität
1	1.35*G + 1.5*Q	0.53	0.89

Anlage 5: Bemessung der Steifen bei +84,0 mNN

Position: BTII+-005n

Biegetorsionstheorie BTII+ 02/2020 (FRILO R-2020-2/P12)

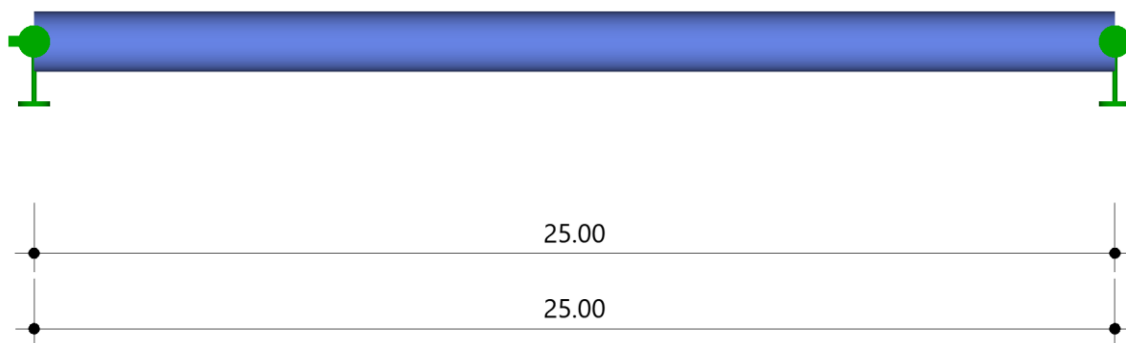
Grundparameter

Bemessungsnorm	:	DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
Kombination ständiger Lasten	:	untereinander mit $\gamma_{G,sup}$ und $\gamma_{G,inf}$
Querschnittsbemessung	:	plastisch
Systemtragfähigkeit	:	Ersatzstabnachweis
Stabilitätsnachweis nach	:	6.3.3 - Anhang B
Schubspannungen infolge primärer Torsion	:	berücksichtigt
Schubspannungen infolge sekundärer Torsion	:	berücksichtigt
Nachweis Absolutverformung in y mit δ_{lim}	=	1.5 cm
Nachweis Absolutverformung in z mit δ_{lim}	=	2.5 cm

System

Stabzug

Maßstab 1 : 175



Gesamtlänge = 25.00 m

Material S355

Querschnitte

Statische Werte

Nr	Name	I_y [cm ⁴]	I_z [cm ⁴]	I_t [cm ⁴]	I_w [cm ⁶]	\max_w [cm ²]	A [cm ²]
5	H1400/tw60/bo0/bu0	5680615.3	5680615.3	11361230.5	0	0.0	2525.8

Abmessungen

Querschnitt Nr. 5 - H1400/tw60/bo0/bu0

Durchmesser/Wandung d = 1400 mm s = 60 mm

Fertigungsprozess warm

Spannungspunkte

Nr	Punkt	O-Punkt		S-Punkt		M-Punkt		Verwölbung
Name		y_o [mm]	z_o [mm]	y_s [mm]	z_s [mm]	y_M [mm]	z_M [mm]	ω [cm ²]
5 H1400/tw60/bo0/bu0	1	0	-700	0	-700	0	-700	0.0
	2	-268	-647	-268	-647	-268	-647	0.0
	3	-495	-495	-495	-495	-495	-495	0.0
	4	-647	-268	-647	-268	-647	-268	0.0
	5	-700	0	-700	0	-700	0	0.0

Nr	Punkt	O-Punkt		S-Punkt		M-Punkt		Verwölbung
Name		y _O [mm]	z _O [mm]	y _S [mm]	z _S [mm]	y _M [mm]	z _M [mm]	ω [cm ²]
	6	-647	268	-647	268	-647	268	0.0
	7	-495	495	-495	495	-495	495	0.0
	8	-268	647	-268	647	-268	647	0.0
	9	0	700	0	700	0	700	0.0
	10	268	647	268	647	268	647	0.0
	11	495	495	495	495	495	495	0.0
	12	647	268	647	268	647	268	0.0
	13	700	0	700	0	700	0	0.0
	14	647	-268	647	-268	647	-268	0.0
	15	495	-495	495	-495	495	-495	0.0
	16	268	-647	268	-647	268	-647	0.0

System: 1 Abschnitte, Gesamtlänge = 25.00 m

Nr	von x [m]	bis x [m]	Länge [m]	Querschnitt [Nr. Anfang]	Querschnitt [Nr. Ende]
1	0.00	25.00	25.00	5	5

Auflager

Lagerbedingungen - Verschiebung

Nr	x [m]	Verschiebungen ^{*)}		Abstände	
		v [kN/m]	w [kN/m]	y [mm]	z [mm]
1	0.00	-1	-1	0	0
2	25.00	-1	-1	0	0

^{*)}-1 = starr, 0 = frei, > 0 = elastisch

Lagerbedingungen - Verdrehungen

Nr	x [m]	Verdrehungen ^{*)}			Verwölbung ^{*)}
		Φ _x [kNm/rad]	Φ _y [kNm/rad]	Φ _z [kNm/rad]	Ω _{y,z} [kNm ³]
1	0.00	-1	0.0	0.0	0.00
2	25.00	0.0	0.0	0.0	0.00

^{*)}-1 = starr, 0 = frei, > 0 = elastisch

Belastung

Lastdefinitionen

Art 1 =	Gleichlast	kN/m	5 =	Dreieckslast über l	kN/m
2 =	Einzellast	kN	6 =	Trapezlast über l	kN/m
3 =	Einzelmoment	kNm	7 =	Bereichstorsionsmoment	kNm/m
4 =	Trapezlast	kN/m	8 =	Normalkraftverlauf	kN/m

Lastfall 1: ständige Lasten

Art	in/um	Pli	a [m]	Pre	l [m]	ey [mm]	ez [mm]	Bemerkungen zur Last
8	x	30500.0	0.00	30500.0	25.00	0	0	Last
3	y	-7120.00	0.00					
Einwirkungsgruppe 99 - ständig Eigengewicht wird automatisch angesetzt								

Lastfall 2: Zusatzlastfall

Art	in/um	Pli	a [m]	Pre	l [m]	ey [mm]	ez [mm]	Bemerkungen zur Last
1	z	5.00				0	0	Last
Einwirkungsgruppe 1 - Kat. A: Wohngebäude								

Berechnung nach DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08

Überlagerung 1: 1.35*G + 1.5*Q

Überlagerungsfaktoren

Nr	Lastfall	γ
1	ständige Lasten	1.35

Bemessungswerte der Schnittgrößen für die maßgebende Laststellung nach Theorie I. Ordnung

x [m]	N _{x,Ed} [kN]	V _{z,Ed} [kN]	M _{y,Ed} [kNm]	V _{y,Ed} [kN]	M _{z,Ed} [kNm]	M _{tp} [kNm]	M _{ts} [kNm]	M _{t,Ed} [kNm]	M _{ω,Ed} [kNcm ²]
0.00	-41175.0	-49.9	9612.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
11.00	-41175.0	-344.3	7443.82	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
24.75	-41175.0	-712.4	178.93	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
25.00	-41175.0	-719.1	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0

Querschnittsnachweis nach Gleichung 6.2 - Theorie I. Ordnung γ_{M0} = 1.00

x [m]	Qkl	η _N	η _{Vz}	η _{My}	η _{Vy}	η _{Mz}	η _{MyMz}	η _{Mx}	η _{Mw}	η
0.00	1	0.49	0.00	0.27	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.75
11.00	1	0.49	0.01	0.21	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.69
25.00	1	0.49	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49

Ersatzstabnachweise

Stabilitätsnachweis Biegung ohne/mit Normalkraft (Gl. 6.61)

$$N_{Ed} / (\chi_y \cdot N_{Rd}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed} / (\chi_{it} \cdot M_{y,Rd}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed} / M_{z,Rd} = 0.89$$

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= 41175.0 \text{ kN} & N_{Rk} &= 89667.3 \text{ kN} \\ N_{cr,y} &= 188379.8 \text{ kN} \\ S_{ky} &= 25.00 \text{ m} \\ \lambda_y &= 0.69 \\ \chi_y &= 0.85 \\ k_{yy} &= 1.00 & k_{yz} &= 0.00 \\ M_{y,Ed} &= 9612.00 \text{ kNm} & M_{z,Ed} &= 0.00 \text{ kNm} \\ M_{cr} &= 1217844.75 \text{ kNm} \\ \chi_{it} &= 1.00 \\ M_{y,Rk} &= 36060.01 \text{ kNm} & M_{z,Rk} &= 36060.01 \text{ kNm} \\ \gamma_{M1} &= 1.10 \end{aligned}$$

Nachweis bei x = 0.00 m nach Gl. (6.61) erfüllt.

Stabilitätsnachweis Biegung ohne/mit Normalkraft (Gl. 6.62)

$$N_{Ed} / (\chi_z \cdot N_{Rd}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed} / (\chi_{it} \cdot M_{y,Rd}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed} / M_{z,Rd} = 0.77$$

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= 41175.0 \text{ kN} & N_{Rk} &= 89667.3 \text{ kN} \\ N_{cr,z} &= 188379.8 \text{ kN} \\ S_{kz} &= 25.00 \text{ m} \\ \lambda_z &= 0.69 \\ \chi_z &= 0.85 \\ k_{zy} &= 0.60 & k_{zz} &= 0.00 \\ M_{y,Ed} &= 9612.00 \text{ kNm} & M_{z,Ed} &= 0.00 \text{ kNm} \\ M_{cr} &= 1217844.75 \text{ kNm} \\ \chi_{it} &= 1.00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{y,Rk} &= 36060.01 \text{ kNm} & M_{z,Rk} &= 36060.01 \text{ kNm} \\ \gamma_{M1} &= 1.10 \end{aligned}$$

Nachweis bei $x = 0.00 \text{ m}$ nach Gl. (6.62) erfüllt.

Zusammenfassung aller Berechnungsergebnisse

Auslastung - Tragsicherheit

Nr	Lastkombination	Querschnitt	Stabilität
1	1.35*G + 1.5*Q	0.75	0.89