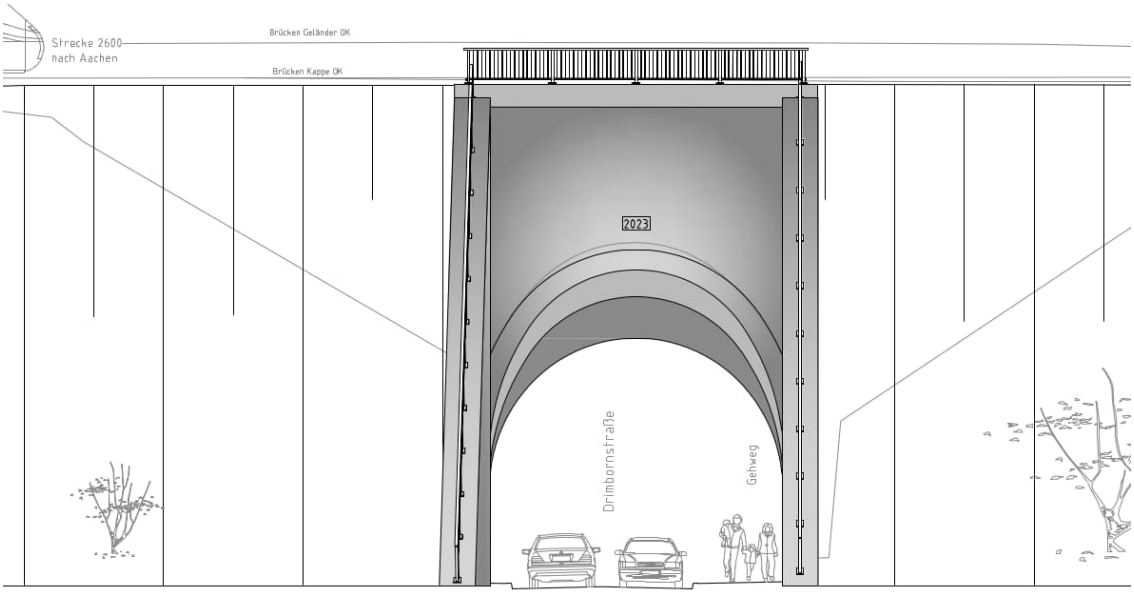
Strecke	2600	km 68,493
Bauwerksnummer	2600/68,493/1615	Entwurfsplanung

Statische Berechnung im Rahmen der Entwurfsplanung Beverbach-Baugrube: Ausgesteifte Bohrpfahlwände mit rückverankerter UWB-Sohle



EÜ Drimbornstraße in Aachen

Inhalt

1 Vorbemerkungen 5
1.1 Beschreibung des Tragwerks 5
1.2 Quellen 6
1.2.1 Technische Vorschriften 6
1.2.2 Literatur 7
1.2.3 Programme 7
1.2.4 Gutachten/Aktenvermerke 7
1.3 Positionsplan 8
1.4 Materialkennwerte 10
1.4.1 Eigenschaften der Baustoffe 10
1.4.2 Betondeckung 11
1.5 Mindestabmessungen für Bauteildicken 11
1.5.1 Unterwasserbetonsohle 11
1.5.2 Mikropfähle 12
1.6 Baugrundverhältnisse 14
1.6.1 Bodenarten und Schichtenfolge 14
1.6.2 Baugrundaufbau gemäß Baugrundgutachten 16
1.6.3 Grundwasser gemäß Baugrundgutachten 16
1.6.4 Gründung 16
1.6.5 Wasserhaltung 17
2 Darstellung und Beschreibung des statischen Systems 19
2.1 Baugrubenwände 19
2.1.1 Kennwerte für die Bemessung 20
2.1.2 Aussteifung 22
2.1.3 Statisches System 22
2.2 Rückverankerte UWB-Sohle 22
2.2.1 Vorbemerkung 22
2.2.2 Kennwerte für die Bemessung der Mikropfähle 23
3 Einwirkungen und Einwirkungskombination 24
3.1 Ständige Einwirkungen 24
3.1.1 Eigengewicht des Bauwerks 24
3.1.2 Ständiger Erddruck 24
3.1.3 Grundwasser 24
3.2 Veränderliche Einwirkungen 24
3.2.1 Baustellenfahrzeuge 24

3.2.2 Baugerät ... 24
4 Nachweise am Gesamtsystem ... 26
4.1 Teilsicherheitsbeiwerte ... 26
4.2 Nachweise für Bohrpfahlwände ... 27
4.2.1 Benötigte Bewehrung ... 28
4.2.2 Stabilitätsnachweis der Steifen ... 29
4.2.3 Teilflächenpressung Bestandsgewölbe ... 29
4.3 Nachweise der rückverankerten UWB-Sohle ... 30
4.3.1 Allgemeines ... 30
4.3.2 Nachweis gegen Herausziehen der Pfähle (GEO-2) ... 30
4.3.3 Nachweis gegen Aufschwimmen (UPL) ... 32
4.3.4 Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch ... 34
4.3.5 Stabilitätsnachweis der Mikropfähle ... 35
5 EDV-Ausdrucke ... 35

Tabellen

Tabelle 1: Streckenparameter der Strecke 2600 ... 5
Tabelle 2: Betoneigenschaften Bohrpfahlwände ... 10
Tabelle 3: Betonstahleigenschaften Bohrpfahlwände ... 10
Tabelle 4: Betoneigenschaften UWB-Sohle ... 10
Tabelle 5: Stabstahleigenschaften ... 11
Tabelle 6: Betondeckung Bohrpfahlwände ... 11
Tabelle 7: Betondeckung Bohrpfahlwände ... 11
Tabelle 8: Charakteristische Zahlenwerte ausgewählter geotechnischer Kenngrößen (IBES Baugrundgutachten) ... 16
Tabelle 9: Charakteristische Werte für Mantelreibung $q_{s,k}$ und Spitzenwiderstand $q_{b,k}$ bei Bohrpfählen ... 17
Tabelle 10: Grenzmantelreibungswerte $q_{s,k}$ für verpresste Mikropfähle nach EA-Pfähle ... 17
Tabelle 11: Kennwerte der Bemessung ... 20
Tabelle 12: Kennwerte des Verbaus – System 1 ... 21
Tabelle 13: Kennwerte des Verbaus – System 2 ... 21
Tabelle 14: Bodenkennwerte ... 22
Tabelle 15: Kennwerte der Mikropfähle ... 23
Tabelle 16: Schichtabhängige Bodenwiderstände für Pfähle ... 23
Tabelle 17:Teilsicherheitsbeiwerte ständige und vorübergehende Kombination ... 26
Tabelle 18:Teilsicherheitsbeiwerte HYD und UPL ... 26

Tabelle 19:Teilsicherheitsbeiwerte STR und GEO-2 26
Tabelle 20:Teilsicherheitsbeiwerte ständige und vorübergehende Kombination 26
Tabelle 21:Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände von Bauteilen und Boden..... 27
Tabelle 22: Max. Verformungen der Verbauwände 27
Tabelle 23: Ausnutzungsgrade μ für verschiedene Nachweise – System 1 28
Tabelle 24: Ausnutzungsgrade μ für verschiedene Nachweise – System 2 28
Tabelle 25: Max. Normalkräfte in den Steifen 29

Abbildungen

Abbildung 1: Draufsicht der Drimbornstraße mit Baugrube für Beverbach 8
Abbildung 2: Querschnitt des Bestands mit skizzierten bauzeitlichen Verbauwänden..... 9
Abbildung 3: Darstellung der Ausführungssituation für eine Unterwasserbetonsohle, gemäß ZTV-ING..... 12
Abbildung 4: Plattenverankerung der Mikropfähle bei Zug-/ Druckbeanspruchung 13
Abbildung 5: Federkorbdistanzhalter und -Maße [Zulassung Z-32.1-9]..... 13
Abbildung 6: Lageplan mit Erkundungspunkten 14
Abbildung 7: Bohrkern BK1..... 15
Abbildung 8: Bohrkerne BK2 und BK3 15
Abbildung 9: Bohrpfahlwand – Schnitt GGU-RETAIN [m] 19
Abbildung 10: Verbau zur Herstellung der UWB-Sohle 20
Abbildung 11: Verbau mit UWB-Sohle 21
Abbildung 12: Aussteifung des Verbaus 22
Abbildung 13: Lastansatz nach EAB – EB 57-1 25
Abbildung 14: Geometrie des an einem Einzelpfahl angehängten Bodens einer Pfahlgruppe – DIN 1054 33
Abbildung 15: Geometrie des an einem Einzelpfahl angehängten Bodens einer Pfahlgruppe – DIN 1054 34

1 Vorbemerkungen

1.1 Beschreibung des Tragwerks

Die hier vorgelegten Standsicherheitsnachweise in der BS-T und in der BS-A betreffen die im Straßenbereich verlaufende Verbauwand der Drimbornstraße und kreuzen die EÜ Drimbornstraße in Aachen, die die Strecken 2600, 2564 und 2560 über die Drimbornstraße überführt.

Grundlage der Berechnungen sind die Vorplanungspläne der DB Engineering & Consulting GmbH sowie die Baugrundgutachten von IBES vom 15.01.2016.

In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die Streckenparameter zusammengefasst:

Strecke 2600				
Entwurfsgeschwindigkeit (Bahnstrecke)	v_e	=	160	km/h
Überhöhung	u	=	0	mm
Radius	r	=	∞	m
Höhe der Schienenoberkante	H	=	184,8	mNN
Gleislängsneigung	I	=	ca. 2	‰

Tabelle 1: Streckenparameter der Strecke 2600

Zur Umverlegung des Beverbachs in Straßenmitte, werden entlang der Straße Baugruben benötigt, die mittels Verbau und rückverankerter Unterwasserbetonsohle gesichert werden müssen. Sie dienen der Straßen- und Bestandsbrückensicherung.

Wenn andere Bodeneigenschaften als angenommen vorgefunden werden, ist der Aufsteller zu kontaktieren.

1.2 Quellen

1.2.1 Technische Vorschriften

DIN EN 1990 DIN EN 1990/NA	Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung und Nationaler Anhang
DIN EN 1991-1-1 DIN EN 1991-1-1/NA	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-1: Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau und Nationaler Anhang
DIN EN 1991-1-5 DIN EN 1991-1-5/NA	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-5: Temperatureinwirkungen und Nationaler Anhang
DIN EN 1991-1-7 DIN EN 1991-1-7/NA	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-7: Außergewöhnliche Einwirkungen und Nationaler Anhang
DIN EN 1994-2 DIN EN 1994-2/NA	Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton Teil 2: Allgemeine Bemessungs- und Anwendungsregeln für Brücken und Nationaler Anhang
DIN EN 1997-1 DIN EN 1997-1/NA	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik Teil 1: Allgemeine Regeln und Nationaler Anhang
Handbuch EC-7-1	Handbuch Eurocode 7 – Geotechnische Bemessung, Band 1
DIN 1054	Baugrund und Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
DIN 4149	Bauten in deutschen Erdbebengebieten Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten
ZTV-ING	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten
EAB	Empfehlung des Arbeitskreises Baugruben 5. Auflage
EA-Pfähle	Empfehlung des Arbeitskreises „Pfähle“ 2. Auflage
DIN EN 14199	Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Mikropfähle
DIN EN 206	Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
DIN SPEC 18539	Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 14199:2012-01, Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Pfähle mit kleinen Durchmessern (Mikropfähle)

1.2.2 Literatur

Schneider Bautabellen, 20. Auflage, Werner-Verlag 2012

DIBt Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung:

Nummer Z-32.1-9, Antragsteller: DYWIDAG-Systems International GmbH; Gegenstand des Bescheides: DYWIDAG GEWI-Pfähle (Mikropfähle (Verbundpfähle) mit einem Tragglied aus Stabstahl mit Gewinderippen S 555/700, ϕ 63,5 mm)

Nummer Z-1.5-2, Antragsteller: DYWIDAG-Systems International GmbH; Gegenstand des Bescheides: DYWIDAG-Systems-Muffenverbindungen und -Verankerungen von Stabstahl mit Gewinderippen S 555/700, Nenndurchmesser 63,5 mm

1.2.3 Programme

GGU-RETAIN:	Berechnung von Verbauwänden, Version 12.01 05.02.2024, Civilserve GmbH
STX+	Stabilitätsnachweis, Version 02/21 (4.20162.0421.0), FRILO Software GmbH

1.2.4 Gutachten/Aktenvermerke

DB E&C GmbH	Vor- und Genehmigungsplanung Unterlagen, Stand 03.05.2024
IBES Baugrundinstitut GmbH:	Baugrund- und Gründungsgutachten IBES-Projekt-Nr. 13.090.1 vom 15.01.2016 + diverse Stellungnahmen

1.3 Positionsplan

Die in dieser Statik betrachteten Verbauwände verlaufen unter der Straße und kreuzen die EÜ, wie Abbildung 1 zu entnehmen ist:

Draufsicht

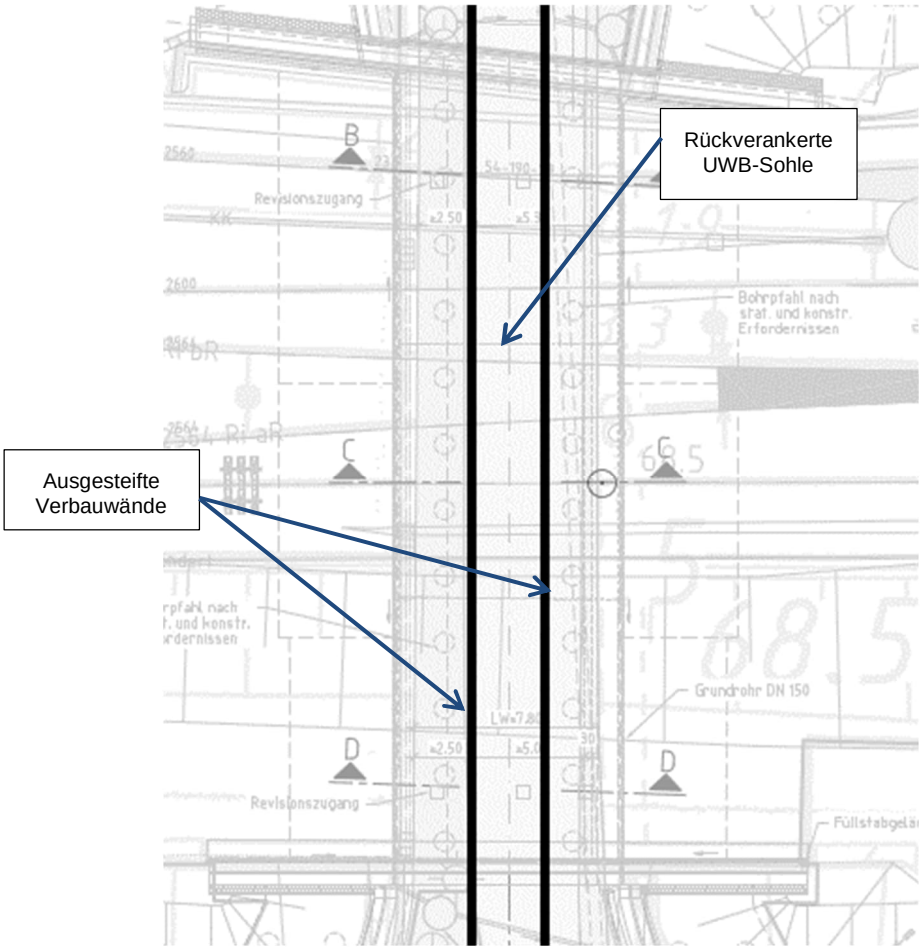


Abbildung 1: Draufsicht der Drimbornstraße mit Baugrube für Beverbach

In Abbildung 2 ist die Lage der Verbauten inkl. Steife und Unterwasserbetonsohle im Querschnitt des Bestandsgewölbes schematisch dargestellt:

Querschnitt

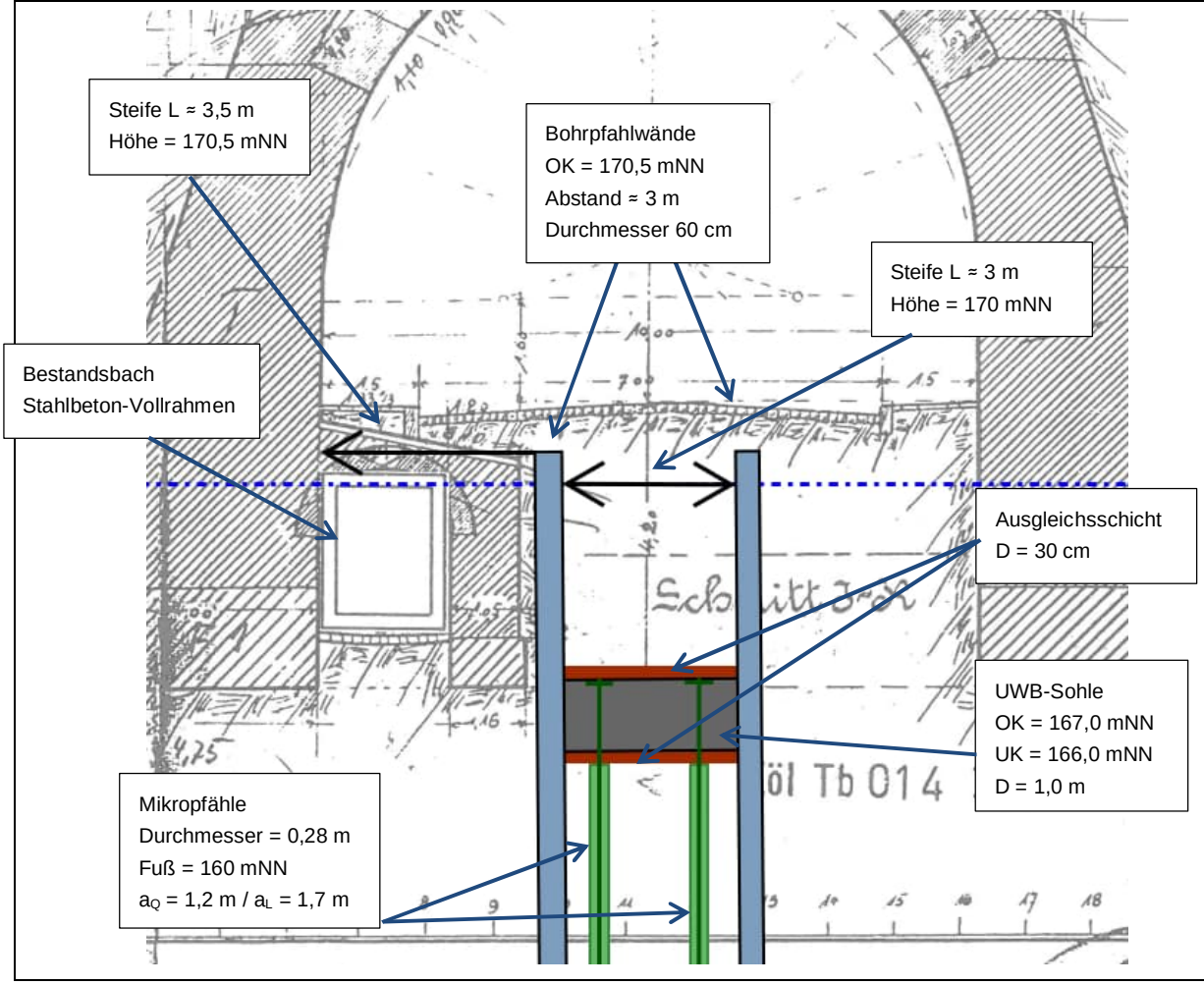


Abbildung 2: Querschnitt des Bestands mit skizzierten bauzeitlichen Verbauwänden

Die Abmessungen der Bauteile sind den Planunterlagen zu entnehmen.

1.4 Materialkennwerte

1.4.1 Eigenschaften der Baustoffe

1.4.1.1 Bohrpfahlwände

Für die Bohrpfahlwände wird die Betonfestigkeitsklasse C30/37 gewählt, siehe Tabelle 2:

Beton				
Charakteristischer Wert der Druckfestigkeit	f_{ck}	=	30	MN/m^2
Elastizitätsmodul	E_{cm}	=	30000	MN/m^2
Mittlere Zugfestigkeit	f_{ctm}	=	2,9	MN/m^2
Temperaturkoeffizient	α_T	=	$10 \cdot 10^{-6}$	K^{-1}

Tabelle 2: Betoneigenschaften Bohrpfahlwände

Die Eigenschaften des Betonstahls sind nachfolgender Tabelle 3 zu entnehmen.

Betonstahl BSt 500S				
Charakteristischer Wert der Streckgrenze	f_{yk}	=	500	MN/m^2
Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit	$f_{tk,cal}$	=	525	MN/m^2
Elastizitätsmodul	E	=	200.000	MN/m^2

Tabelle 3: Betonstahleigenschaften Bohrpfahlwände

1.4.1.2 UWB-Sohle

Für die unbewehrte Unterwasserbetonsohle wird die Betonfestigkeitsklasse C16/20 gewählt, siehe Tabelle 4:

Beton				
Charakteristischer Wert der Druckfestigkeit	f_{ck}	=	16	MN/m^2
Elastizitätsmodul	E_{cm}	=	29.000	MN/m^2
Mittlere Zugfestigkeit	f_{ctm}	=	1,9	MN/m^2
Temperaturkoeffizient	α_T	=	$10 \cdot 10^{-6}$	K^{-1}

Tabelle 4: Betoneigenschaften UWB-Sohle

1.4.1.3 Mikropfähle

Die Mikropfähle mit Zement verfüllt, der gemäß DIN EN 206:2013, Anhang D entsprechen muss, siehe DIN EN 14199 6.3.1.1.

Die Eigenschaften des Stabstahls der Mikropfähle sind nachfolgender Tabelle 5 zu entnehmen.

Stabstahl mit Gewinderippen S 555/700				
Durchmesser	d	=	63,5	mm
Charakteristischer Wert der Streckgrenze	f_{yk}	=	555	MN/m^2
Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit	$f_{tk,cal}$	=	700	MN/m^2
Elastizitätsmodul	E	=	210.000	MN/m^2

Tabelle 5: Stabstahleigenschaften

1.4.2 Betondeckung

1.4.2.1 Bohrpfahlwände

Für die Bohrpfahlwände gilt gemäß DIN 1536, gemäß Tabelle 6:

Expositionsklasse	Klasse	Beschreibung	Mindestmaß c_{min}
Bewehrungskorrosion, durch Karbonatisierung	XC2	Gründungsbauteile	60 mm

Tabelle 6: Betondeckung Bohrpfahlwände

Maßgebende Betondeckung $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 60 + 15 = 75$ mm

1.4.2.2 Mikropfähle

Die Mindestmaße für eine Zementsteinüberdeckung der Mikropfähle werden gemäß DIN SPEC 18539, A Anhang C, Tabelle C.1 gewählt.

Expositionsklasse	Klasse	Beschreibung	Mindestmaß d bei Zug
Bewehrungskorrosion, durch Karbonatisierung	XC2	Gründungsbauteile	30 mm

Tabelle 7: Betondeckung Bohrpfahlwände

Bei Mikropfählen für den Kurzzeiteinsatz dürfen diese Werte um 10 mm verringert werden.

1.5 Mindestabmessungen für Bauteildicken

1.5.1 Unterwasserbetonsohle

Gemäß ZTV-ING – Teil 2 – Abschnitt 1 Baugruben 7.4.2, gilt:

Unterwasserbetonsohlen dürfen für den Nachweis der Auftriebssicherheit des endgültigen Bauwerks nicht herangezogen werden. Unterwasserbetonsohlen sind unbewehrt vorzusehen. Eine Dicke von 1,0 m darf nicht unterschritten werden. Bei einer Nutzung der Unterwasserbetonsohle als Gründungselement sind Maßnahmen zur Minimierung von weichen Ablagerungen unterhalb

der Sohle in die Leistungsbeschreibung aufzunehmen. Der Anschlussbereich Sohle / Wand ist vor Einbringen des Unterwasserbetons zu reinigen, durch Tauchereinsatz zu kontrollieren und zu protokollieren. Der Beton ist im Kontraktorverfahren einzubringen.

Die erforderliche Dicke der Unterwasserbetonsohle ist für den festgelegten Bemessungswasserstand für die Bauzeit nachzuweisen.

Zwischen Aushubsohle und Soll-Unterfläche Unterwasserbeton ist für herstellungsbedingte Ungenauigkeiten ein Maß von 30 cm zu berücksichtigen, siehe Abbildung 3 :

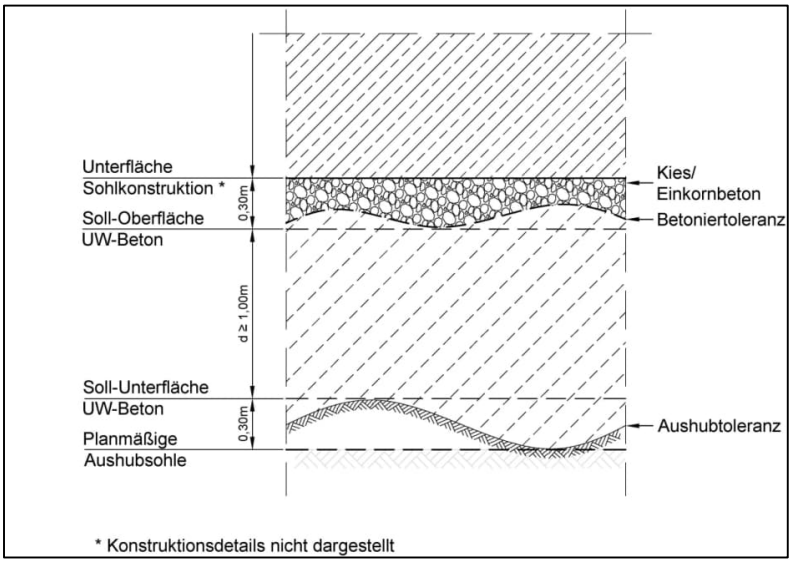


Abbildung 3: Darstellung der Ausführungssituation für eine Unterwasserbetonsohle, gemäß ZTV-ING

Die Ausgleichsschicht ist filterstabil auszuführen, im Randbereich gegen seitliches Ausweichen zu sichern und muss eine Dränwirkung sicherstellen. Aufgesetzte Ankerkopfkonstruktionen sind in der Ausgleichsschicht anzuordnen.

1.5.2 Mikropfähle

Im Fundament werden die Mikropfähle verankert. Die Unterwasserbetonsohle muss so dimensioniert werden, dass die Ein- und Weiterleitung der Pfahlkraft in den Baukörper übertragen werden kann. Die Fundamentdicke ergibt sich aus der Verankerungslänge bei einer Plattenverankerung L_p, dem Ankerstück L_A, bestehend aus einer Ankermutter und einer Kontermutter und der Betondeckung c_{nom}. In Abbildung 4 ist eine Plattenverankerung beispielhaft dargestellt gemäß Zulassung Z-1.5-1; DYWIDAG-Systems-Muffenverbindungen und -Verankerungen von Stabstahl mit Gewinderippen S 555/700.

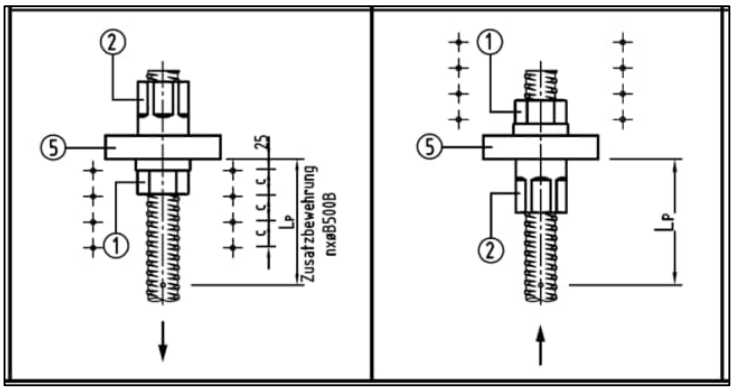


Abbildung 4: Plattenverankerung der Mikropfähle bei Zug-/ Druckbeanspruchung

Verankerungslänge bei Plattenverankerung: L_p = 340 mm

Länge des Ankerstücks: L_A = 115 mm

Benötigte Fundamentdicke: $L_p + L_A + c_{nom}$ = 510 mm

Der minimale Durchmesser der Pfähle ergibt sich durch die Federkorbdistanzhalter, siehe Abbildung 5:

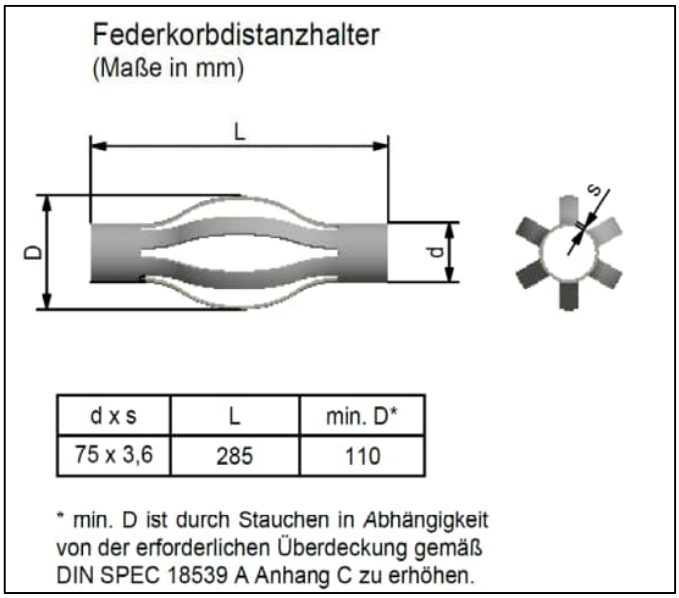


Abbildung 5: Federkorbdistanzhalter und -Maße [Zulassung Z-32.1-9]

Mindestdurchmesser: D_{min} = 110 mm

1.6 Baugrundverhältnisse

1.6.1 Bodenarten und Schichtenfolge

Der angenommene Baugrundaufbau für die statischen Berechnungen liegen die Ergebnisse der Baugrunderkundung von IBES zugrunde. Eine Übersicht der Lage der Bohrkerne ist Abbildung 6 zu entnehmen:

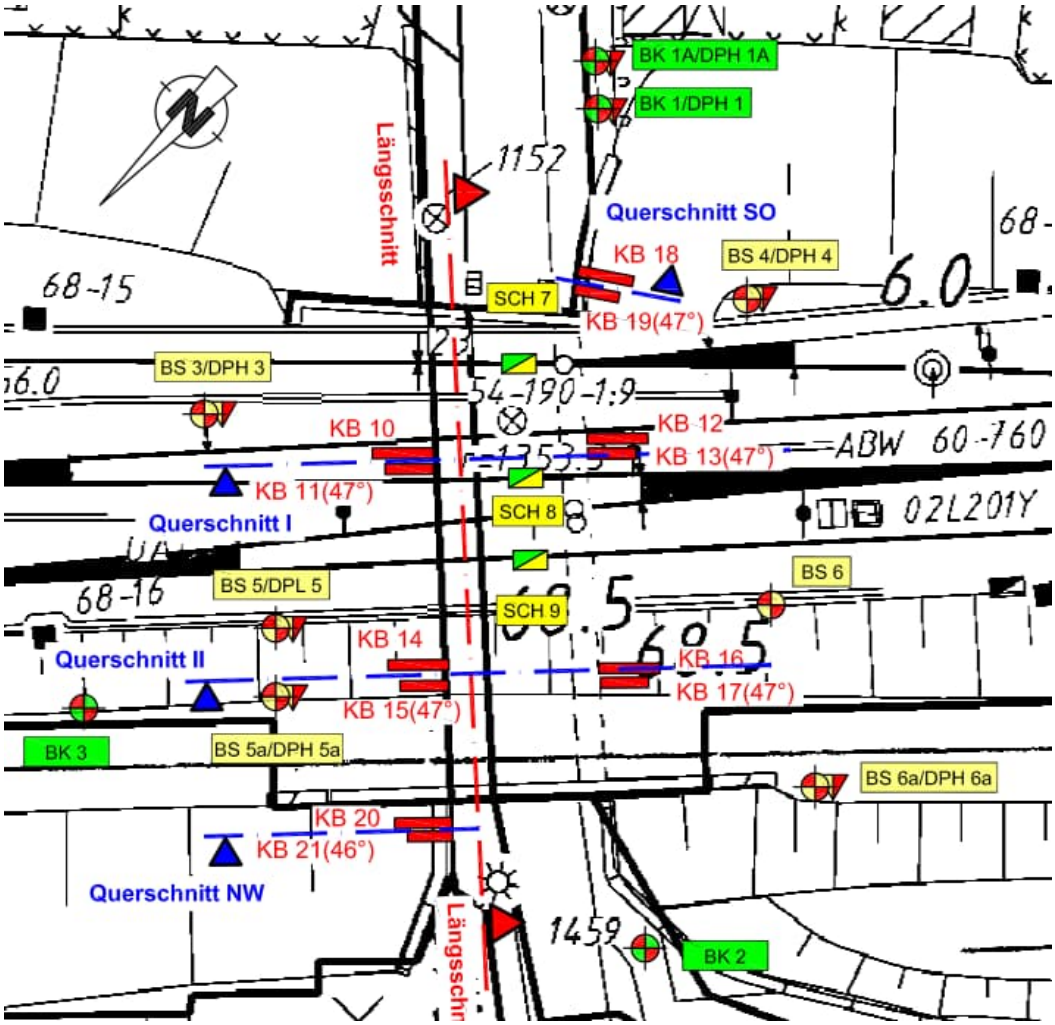


Abbildung 6: Lageplan mit Erkundungspunkten

In Abbildung 7 und Abbildung 8 werden die Ergebnisse der Bohrkerne BK1, BK2 und BK3 dargestellt, die für die Modellierung des Baugrunds verwendet werden.

1.6.1.1 Südseite

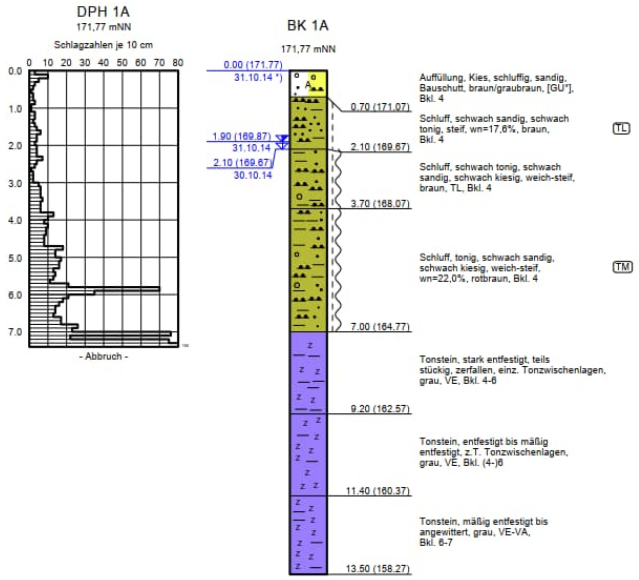


Abbildung 7: Bohrkern BK1

1.6.1.2 Nordseite

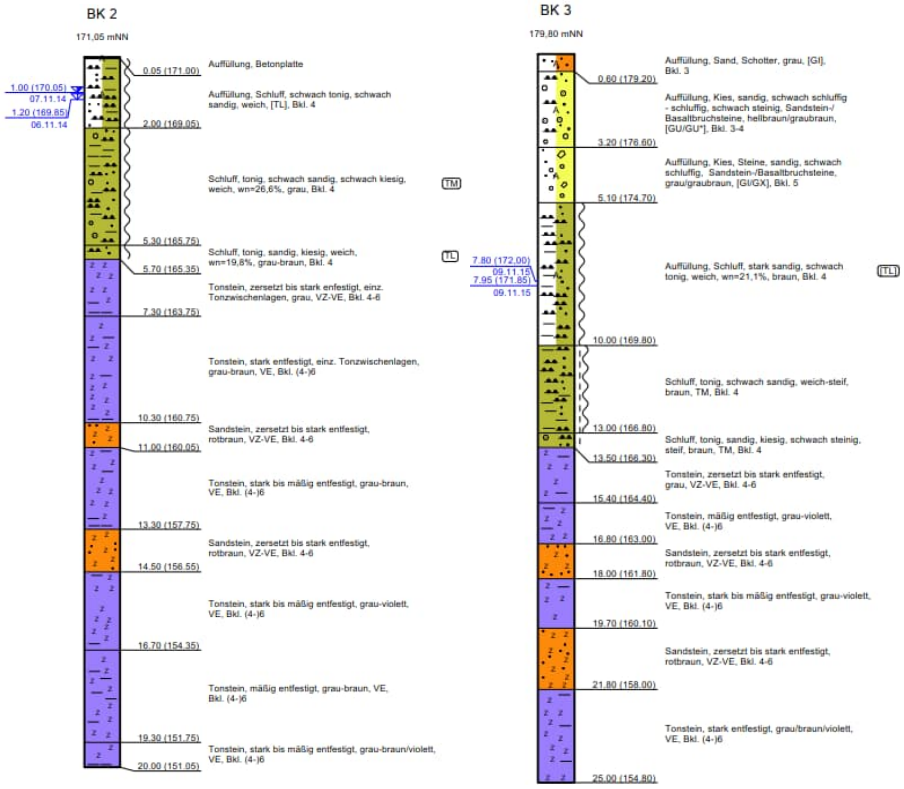


Abbildung 8: Bohrkerne BK2 und BK3

1.6.2 Baugrundaufbau gemäß Baugrundgutachten

In Tabelle 8 sind die charakteristischen Werte der geotechnischen Kenngrößen zusammengefasst:

Schicht-komplex	Bodenart *)	Bodengruppe n. DIN 18196	Konsistenz / Lagerungsdichte / Verwitterungsgrad	γ (γ') [kN/m³]	φk´ [°]	ck´ [kN/m²]	Es,k [MN/m²]
(1)	Kies, sandhaltig,z.T. schwach schluffig / Sand, kieshaltig, z.T. schw. schluffig	[GI], [GU], ([GX]) [SI], [SU]	locker mitteldicht	18 (10) 19 (11)	32,5 35,0	0	30 60
	Kies, sandhaltig, (stark) schluffig / Sand, kieshaltig, (stark) schluffig	[GU*] [SU*]	locker mitteldicht	19 (9) 20 (10)	30,0 32,5	0 3	20 40
	Schluff, ton-, sandhaltig	[TL]	weich steif	19 (10) 20 (11)	27,5	2 5	5 8
		[TM]	weich steif	19 (10) 20 (11)	25,0	2 7	5 8
(2)	Schluff, ton-, sandhaltig	TL	weich steif	19 (10) 20 (11)	27,5	2 5	5 8
		TM	weich steif	19 (10) 20 (11)	25,0	2 7	5 8
(3)	(verwitterter) Tonstein (Sandstein)	(VZ)	zersetzt	21 (12)	25,0	10-20	10 - 20
		(VE)	entfestigt	22 (13)		20-40	20 - 50
		(VA)	angewittert	24 (14)	35,0	40-60	50 - 150

γ (γ´) Wichte (Wichte unter Auftrieb) — c'_k charakteristischer Wert für die Kohäsion
φ'_k charakteristischer Wert für den Reibungswinkel — $E_{s,k}$ charakteristischer Wert für die Steifeziffer
*) Nebenbestandteile, die bei der Vergabe der Kenngrößen unbedeutend sind, sind in dieser Spalte nicht mit aufgeführt.

Tabelle 8: Charakteristische Zahlenwerte ausgewählter geotechnischer Kenngrößen (IBES Baugrundgutachten)

1.6.3 Grundwasser gemäß Baugrundgutachten

Folgende Grundwasserstände werden den Berechnungen für die unterschiedlichen Bemessungssituationen zugrunde gesetzt:

- **$Wsp._{BS-P}$ = 170,5 mNN (= HGW)**
- **$Wsp._{BS-A}$ = 171,0 mNN (= HGW zuzügl. 0,5 m Sicherheitszuschlag)**
- **$Wsp._{BS-T}$ = 170,0 mNN (~ MHGW)**

1.6.4 Gründung

<u>Bohrpfahlwände</u>

Aufgrund des hohen Grundwasserstands werden überschnittene Bohrpfahlwände vorgesehen, sodass eine wasserdichte Baugrube entsteht.

Für Bohrpfähle nach EC 7, DIN-EN 1997 bzw. DIN 1054 und EA Pfähle können die in Tabelle 9 aufgeführten charakteristischen Werte für den Pfahlspitzendruck $q_{b,k}$ sowie die Mantelreibung $q_{s,k}$ zur Konstruktion der Widerstandssetzungslinie gemäß DIN 1054, Anhang B, DIN 4014, 7.1.4 bzw. EA Pfähle bei nicht vorliegender Pfahlprobebelastung, angesetzt werden.

Schicht-komplex	Schicht-UK [mNN]	Lagerungsdichte / Konsistenz / Verwitterungsgrad	Mantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m²]	Spitzenwiderstand $q_{b,k}$ [1] [MN/m²]
(1)	167,0	locker-md. / weich bis stf.	0,01 [2]	- [2]
(2)	165,0	weich, weich-steif		
(3)	160,0	zersetzt bis stark entfestigt	0,08	1,2
	150,0	entfestigt bis mäßig entfestigt	0,15	2,0

[1] bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_a bzw. $s/D_b = 0{,}10$ (~ s_g).
[2] Anforderungen an Baugrundfestigkeit und / oder Schichtmächtigkeit nicht erfüllt, daher kein Widerstand ansetzbar.

Tabelle 9: Charakteristische Werte für Mantelreibung $q_{s,k}$ und Spitzenwiderstand $q_{b,k}$ bei Bohrpfählen

Bei einer Bohrpfahlgründung ist das örtlich gespannte Grundwasser im Tonstein mit zu berücksichtigen und mit Wasserüberdruck zu bohren (vgl. entsprechende Vorschriften).

Mikropfähle

Aufgrund des hohen Grundwasserstands wird die UWB-Sohle mittels Mikropfählen rückverankert. Gemäß EA-Pfähle darf bei der Bemessung der Pfähle lediglich eine Schicht angesetzt werden. Daher wird Schicht (3.1) des zersetzten bis stark entfestigten Tonsteins für die Mantelreibung angesetzt.

Bei verpressten Mikropfählen gemäß DIN 4128, EC 7 / EA-Pfähle bzw. DIN EN 14199 ist die zulässige Pfahlbelastung aufgrund von Probebelastungen festzulegen. Die Probebelastungen sollen mindestens an zwei Pfählen, jedoch wenigstens an 3 % aller Pfähle durchgeführt werden.

Der Vorbemessung von Mikropfählen können die in folgender Tabelle 10 aufgeführten Grenzmantelreibungswerte $q_{s,k}$ zugrunde gelegt werden.

Schicht-komplex	Schicht-UK [mNN]	Lagerungsdichte / Konsistenz / Verwitterungsgrad	Mantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m²]
(1)	167,0	locker-md. / weich bis stf.	0,015
(2)	165,0	weich, weich-steif	
(3)	160,0	zersetzt bis stark entfestigt	0,040 [3]
	150,0	entfestigt bis mäßig entfestigt	0,070 [3]

[1] kein Norm- oder Literaturwert vorhanden ⇒ Wert ist im Vorfeld durch Eignungsprüfungen zu verifizieren.

Tabelle 10: Grenzmantelreibungswerte $q_{s,k}$ für verpresste Mikropfähle nach EA-Pfähle

1.6.5 Wasserhaltung

Hinweise des Boden- und Gründungsgutachtens:

Wasserhaltung – Bachverdolung:

Bei einer angenommenen Kanalgrabentiefe von 4,0 m bis 4,5 m kommt die Grabensohle ca. 3 m bis 3,5 m unter dem GW-Spiegel zu liegen.

Dementsprechend ist - analog zu den Ausführungen im Abschnitt 7.5.2 - für die Herstellung der Bachverdolung ein wasserdichter Baugrubenverbau herzustellen, der möglichst tief in den zersetzten/entfestigten Tonstein eingreift, und die Baugrube im Anschluss daran zu Lenzen.

Abweichend hierzu ist die Situation im Bereich des südöstlichen Baufeldes zu bewerten, da hier auf Grundlage der Beobachtungen bei der Baugrunderkundung mit gespanntem Grundwasser im Tonstein zu rechnen ist. Aus gutachterlicher Sicht ist davon auszugehen, dass sich hier bei

Einrammen einer Spundwand unerwünschte Wasserwegigkeiten einstellen, über die sich das Grundwasser entspannt (Wasserstand bis über GOK!).

Vor diesem Hintergrund ist in diesem Bereich vermutlich ein wasserdichter Baugrubenverbau mit auftriebssicherer (ggf. rückverankerter) Unterwasserbetonsohle einzuplanen.

Über die Bauzeit muss das Wasser im Beverbach entweder umgepumpt oder mittels provisorischer Verdolung durch die Baustelle durchgeleitet werden. In diesem Zusammenhang empfiehlt es sich zu prüfen, ob sich der Bachwasserabfluss ggf. oberstrom an geeigneter Stelle (Abzweig oder dgl.) für die Dauer der Bauarbeiten drosseln lässt (Genehmigung!).

Als Absperrbauwerk sind hierfür im Gewässer ober- und unterstrom ausreichend wasserundurchlässige Fangedämme anzuordnen.

Die Fangedämme sind aus einem mindestens steif-halbfesten, ggf. mittels Bindemittel vergüteten TM-Boden oder dgl. aufzubauen. Um das feinkörnige Material an Ort und Stelle fachgerecht einbauen zu können, ist vorab ggf. zusätzlich ein Stützkörper aus grobstückigem Material herzustellen. Das TM-Material ist beim Einbau auf mindestens D_{Pr} = 95 % zu verdichten.

Anstelle von Fangedämmen könnten theoretisch auch Spundwände im Gewässer hergestellt werden. Dabei ist auf eine sorgfältige Eindichtung der Verdolung in das vertikale Absperrbauwerk zu achten.

Wird das Wasser umgepumpt, muss sich die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Pumpen automatisch dem variablen Zustrom anpassen (z. B. mittels Schwimmerschaltung). Nachteil sind hierbei die infolge des stetigen Stromverbrauchs relativ hohen Betriebskosten für die Maßnahme.

Für die Bauzeit ist von planerischer Seite ein Bachwasserstand festzulegen, bei dessen Überschreitung die Möglichkeit zur Flutung der Baugrube gegeben sein muss. Hierfür muss rechtzeitig vor Beginn der Bauarbeiten ein gesonderter Notfallplan erarbeitet werden mit allen erforderlichen Angaben (Maßnahmenplan, Ansprechpartner etc.).

Zudem ist zu beachten, dass die schluffige Lockergesteinsschicht über dem Tonstein einen Grundwassergeringleiter darstellt und demgemäß der Wasserandrang aus den Schluffen in die Baugrube reduziert ist. Vor diesem Hintergrund kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Wasserauflast in der Baugrube zu gering ist und der Wasserstand künstlich erhöht werden muss, um einen hydraulischen Grundbruch beim Baugrubenaushub auszuschließen.

2 Darstellung und Beschreibung des statischen Systems

2.1 Baugrubenwände

Der Beverbach verläuft derzeit unter dem Gehweg, unter der EÜ am östlichen Widerlager parallel zur Drimbornstraße. Das bestehende Bachtragwerk soll durch einen neuen Stahlbeton-Vollrahmen ersetzt werden und zukünftig mittig unter der Straße verlaufen. Für diese Umverlegung soll in dieser Statik die dafür nötige Baugrube bemessen werden. Es werden dazu zwei parallel, ca. 40 m lange Bohrpfahlwände mit einem Abstand ca. 3 m vorgesehen. Diese dienen der Baugruben- und Straßensicherung bei Herstellung der Bachverdolung. Sie dichten sie die Baugrube horizontal ab. Vertikal wird eine Unterwasserbetonsohle hergestellt. Diese ist nicht kraftschlüssig mit dem Verbau verbunden und wird mittels Mikropfählen rückverankert. Zur Abstützung der Verbauten werden alle 3 m horizontale Steifen vorgesehen. Der Verbau besteht aus überschnittenen Bohrpfahlwänden mit den Durchmessern 0,60 m, siehe Abbildung 9. Jeder zweite Pfahl ist unbewehrt und der Bohrpfahlabstand beträgt 1,0 m.

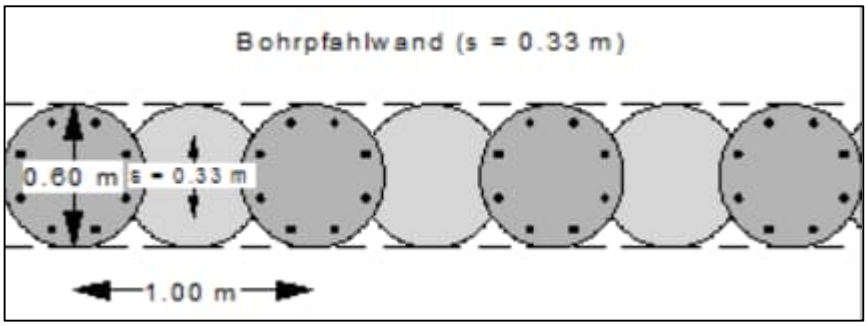


Abbildung 9: Bohrpfahlwand – Schnitt GGU-RETAIN [m]

Die Nachweise erfolgen mittels EDV-Berechnung (Programm: GGU-RETAIN).

2.1.1 Kennwerte für die Bemessung

Die Kennwerte der Bemessung sind Tabelle 11 zu entnehmen:

Grundwasserstand BS-T	170 mNN
Grundwasserstand BS-A	171 mNN
OK Verbau	170,5 mNN
Länge des Verbaus	ca. 40 m
Breite der Bohrpfahlwand	60 cm
UK-Beverbach-Vollrahmen	167,3 mNN
OK-UWB-Sohle	167,0 mNN
Aushubtoleranz über UWB-Sohle	30 cm
UK-UWB-Sohle	166,0 mNN
Aushubtoleranz unter UWB-Sohle	30 cm

Tabelle 11: Kennwerte der Bemessung

Für die Bemessung der Bohrpfahlwände werden folgende 2 Systeme betrachtet:

2.1.1.1 System 1: Baugrube ohne UWB-Sohle

Der GW-Stand wird beidseitig des Verbaus auf 170 mNN (HGW_{BS-T}) angenommen und die Baugrube wird bis UK-UWB-Sohle ausgehoben, siehe Abbildung 10 und Tabelle 12:

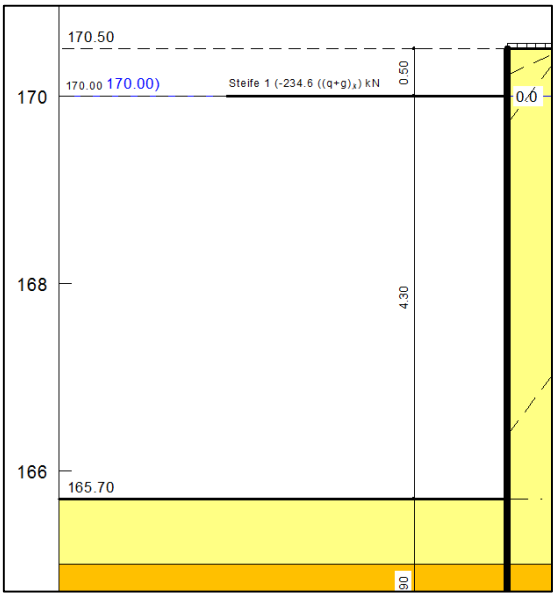


Abbildung 10: Verbau zur Herstellung der UWB-Sohle

Die Baugrubensohle befindet sich unterhalb der UWB-Sohle inkl. einer Aushubtoleranz von 30 cm bei 165,7 mNN.

	BS-T	BS-A
Freie Höhe	4,8 m	4,8 m
Einbindung	1,9 m	1,65 m
Gesamtlänge	6,7 m	6,45 m
Steifenabstand in hor. Richtung	3,0 m	4,5 m

Tabelle 12: Kennwerte des Verbaus – System 1

2.1.1.2 System 2: Baugrube mit UWB-Sohle

Die UWB-Sohle wurde hergestellt. Die Baugrubensohle liegt oberhalb der UWB-Sohle und der GW-Stand liegt unterhalb der UWB-Sohle bei 165,7 mNN, siehe Abbildung 11 und Tabelle 13:

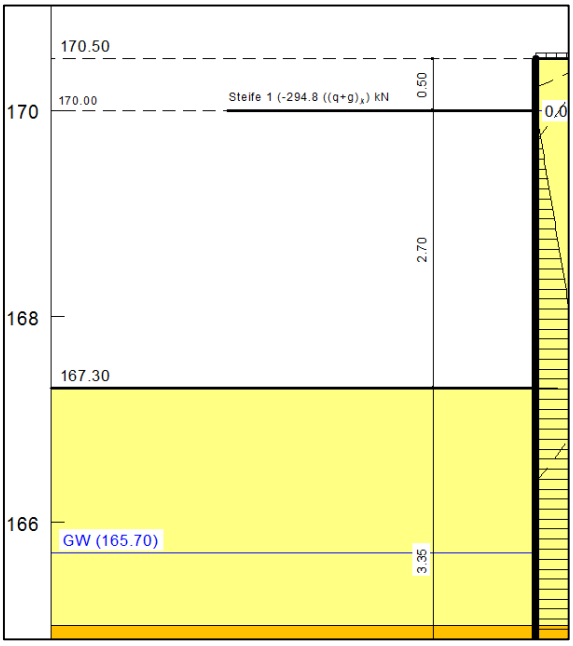


Abbildung 11: Verbau mit UWB-Sohle

Die Baugrubensohle befindet sich oberhalb der UWB-Sohle inkl. Aushubtoleranz von 30 cm bei 167,3 mNN.

	BS-T	BS-A
Freie Höhe	3,2 m	3,2 m
Einbindung	3,35 m	3,0 m
Gesamtlänge	6,55 m	6,1 m
Steifenabstand in hor. Richtung	3,0 m	4,5 m

Tabelle 13: Kennwerte des Verbaus – System 2

Die angenommenen Bodenkennwerte sind Tabelle 14 zu entnehmen:

Schicht	Schicht-UK [mNN]	γ (γ') [kN/m³]	φ [°]	c [kN/m²]	$q_{s,k}$ [kN/m²]	$q_{b,k}$ [MN/m²]
(2) Schluff	165	19 (10)	25	2	10	0
(3.1) Tonstein	160	21 (12)	25	10	80	1,2
(3.2) Tonstein	150	22 (13)	25	20	150	2,0

Tabelle 14: Bodenkennwerte

2.1.2 Aussteifung

Die Lage der Aussteifungen Abbildung 2 und Abbildung 12 zu entnehmen:

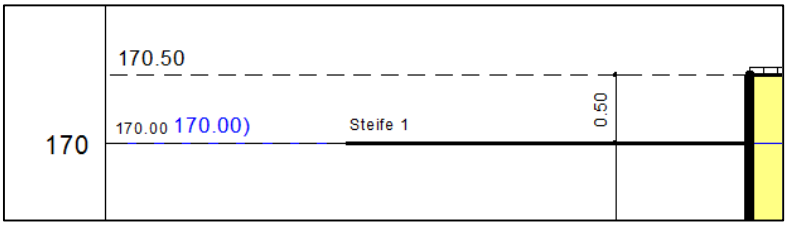


Abbildung 12: Aussteifung des Verbaus

Auf einer Höhe von 170 mNN ist in horizontaler Richtung alle 3 m eine Steife angeordnet. Die Steifen innerhalb der Baugrube zwischen den Bohrpfahlwänden sind 3 m lang.

Höhe der Steife innerhalb der Baugrube: 170 mNN

Länge der Steife innerhalb der Baugrube: 3,0 m

Entlang des östlichen Widerlagers fließt der Beverbach, vermutlich durch ein Stahlbeton-Vollrahmentragwerk. Es liegen keine Angaben zur Tragfähigkeit dieses Bestandsbauwerks vor. Daher wird angenommen, dass dieser Vollrahmen keiner Belastung ausgesetzt werden darf und die Kraft aus der Steife weiter ins Bestandsgewölbe (EÜ) geleitet wird. Die Steifen auf dieser Seite werden mit einer Länge von ca. 3,5 m dimensioniert.

Höhe der Steife (Bestands-EÜ): 170,5 mNN

Länge der Steife (Bestands-EÜ): 3,5 m

2.1.3 Statisches System

Die Einbindetiefe der Verbauwand wird über eine freie Auflagerung am Fuß bestimmt.

2.2 Rückverankerte UWB-Sohle

2.2.1 Vorbemerkung

Die UWB-Sohle wird durch Mikropfähle rückverankert. Die Sohle ist nicht bewehrt. Die Biegemomente und Querkräfte werden über die Gewölbetragwirkung zwischen den einzelnen Auftriebsankern aufgenommen. Der Anschluss zwischen UWB-Sohle und Bohrpfahlwand wird von Tauchern gereinigt. Die Mikropfähle werden vor Einbringen der UWB-Sohle hergestellt, sodass sie beim Betonieren dicht umschlossen sind, eine kraftschlüssige Verbindung entsteht und kein Wasserzutritt möglich ist.

Im Rahmen der Entwurfsplanung wird die innere und äußere Standsicherheit der Mikropfähle untersucht.

2.2.2 Kennwerte für die Bemessung der Mikropfähle

Die Kennwerte der Mikropfähle sind in Tabelle 15 zu erkennen:

Konstruktionsart	Gebohrte Verbundpfähle
Material	Zementmörtel gemäß DIN EN 206, Anhang D
Gesamtlänge	5,0 m
Pfahldurchmesser	D = 0,28 m

Tabelle 15: Kennwerte der Mikropfähle

Die Bodenkennwerte zur Bemessung der Tiefgründung sind Tabelle 16 zu entnehmen:

Schicht	Schicht-UK [mNN]	Mantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m²]
(2) Schluff	165	-
(3.1) Tonstein	160	0,040
(3.2) Tonstein	150	-

Tabelle 16: Schichtabhängige Bodenwiderstände für Pfähle

Für die Mikropfähle wird eine Mantelreibung der Tonsteinschicht (3.1) über eine Höhe von 5 m von 40 kN/m² angesetzt. Bei Mikropfählen wird kein Spitzendruck berücksichtigt.

3 Einwirkungen und Einwirkungskombination

3.1 Ständige Einwirkungen

3.1.1 Eigengewicht des Bauwerks

Das Eigengewicht der Bohrpfahlwand wird programmintern ermittelt.

Das Eigengewicht der Mikropfähle wird vernachlässigt.

$\gamma_{Mikropfahl} = 0$ kN/m³

Das Eigengewicht der UWB-Sohle gemäß EAB:

$\gamma_{UWB} = 23$ kN/m³

3.1.2 Ständiger Erddruck

Für die wenig nachgiebig gestützten Baugrubenwände mit kraftschlüssig verkeilten Steifen wird ein umgelagerter aktiver Erddruck gewählt. Die Erddrucklasten werden programmintern ermittelt.

3.1.3 Grundwasser

Da die Sohle vollständig unter dem Grundwasser liegt, wird die Last aus Auftrieb berücksichtigt.

Wichte Wasser:		$\gamma_w = 10$ kN/m³
Berechnung des Wasserdrucks:		$w = \gamma_w \cdot h$
UK-UWB-Sohle inkl. Aushubtoleranz:		166 mNN
Breite der Sohle:		b = 3,0 m
BS-T		
Wasserstand Auftrieb:		170 mNN
Wasserdruck unter Sohle:	$h_1 = 4$ m	$W = 4 \cdot 10 \cdot 3 = 120$ kN/m
BS-A		
Wasserstand Auftrieb:		171 mNN
Wasserdruck unter Sohle:	$h_1 = 5$ m	$W = 5 \cdot 10 \cdot 3 = 150$ kN/m

3.2 Veränderliche Einwirkungen

3.2.1 Baustellenfahrzeuge

Gemäß EAB 2.8 wird eine großflächige Gleichlast aus Nutzlasten aus Baustellenverkehr und Baubetrieb auf die GOK angesetzt (170,5 mNN): $p_k = 10$ kN/m²

3.2.2 Baugerät

Gemäß EAB 2.8 wird eine zusätzliche Streifenlast aufgebracht (170,5 mNN):

Gewicht:	$G_k = 50$ t
Breite der Ersatzlast:	b = 2,5 m
Abstand zum Verbau:	a = 0,6 m
Flächenlast:	$q'_k = 50$ kN/m²

Lastansatz nach EAB:

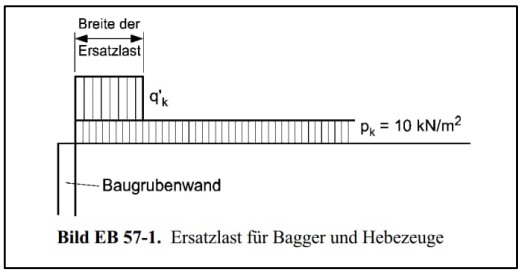


Bild EB 57-1. Ersatzlast für Bagger und Hebezeuge

Abbildung 13: Lastansatz nach EAB – EB 57-1

4 Nachweise am Gesamtsystem

4.1 Teilsicherheitsbeiwerte

Die Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen werden der DIN EN 1990/NA, Tab. 1.2 und der DIN EN 1990/NA/A1:2012-08, Tab. NA.A2.1 entnommen und folgendermaßen festgelegt:

γ	BS-P		BS-T		BS-A	
	ungünstig	günstig	ungünstig	günstig	ungünstig	günstig
Ständige Einwirkungen	1,35	1,0	1,35	1,0	1,0	1,0
Veränderliche Einwirkungen	1,5	0	1,5	0	1,0	0

Tabelle 17:Teilsicherheitsbeiwerte ständige und vorübergehende Kombination

Die Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen der Tabelle 18 und Tabelle 19 werden der DIN 1054:2010-12 Tabelle A.2.1 und A 2.2 entnommen.

HYD und UPL Versagen durch hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen	γ	BS-P	BS-T	BS-A
Destabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,dst}$	1,05	1,05	1,00
Stabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stb}$	0,95	0,95	0,95
Destabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,dst}$	1,50	1,30	1,00
Stabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,stb}$	0	0	0

Tabelle 18:Teilsicherheitsbeiwerte HYD und UPL

STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund	γ	BS-P	BS-T	BS-A
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen, allgemein	γ_G	1,35	1,20	1,10
Beanspruchungen aus günstigen ständigen Einwirkungen	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00	1,00
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen aus Erdruhedruck	γ_{E0g}	1,20	1,10	1,00
Beanspruchungen aus ungünstigen veränderlichen Einwirkungen	γ_Q	1,50	1,30	1,00
Beanspruchungen aus günstigen veränderlichen Einwirkungen	γ_Q	0	0	0

Tabelle 19:Teilsicherheitsbeiwerte STR und GEO-2

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe werden der DIN EN 1992-2 entnommen und folgendermaßen festgelegt:

γ	BS-P	BS-A	Erdbeben
Beton	1,5	1,3	1,5
Betonstahl	1,15	1,0	1,15

Tabelle 20:Teilsicherheitsbeiwerte ständige und vorübergehende Kombination

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände der Tabelle 21 von Bauteilen und Boden werden der 1054:2010-12 Tabelle A.2.3 entnommen und folgendermaßen festgelegt:

STR und GEO-2 Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund	γ	BS-P	BS-T	BS-A
Bodenwiderstände				
Erdwiderstand und Grundbruchwiderstand	$\gamma_{R,e}$, $\gamma_{R,v}$	1,40	1,30	1,20
Gleitwiderstand	$\gamma_{R,h}$	1,10	1,10	1,10
Pfahlwiderstände aus statischen und dynamischen Pfahlprobebelastungen				
Mantelreibung (Druck)	γ_s	1,10	1,10	1,10
Gesamtwiderstand (Druck)	γ_t	1,10	1,10	1,10
Mantelreibung (Zug)	$\gamma_{s,t}$	1,15	1,15	1,15
Pfahlwiderstände aus statischen und dynamischen Pfahlprobebelastungen				
Druckpfähle	γ_b γ_s γ_t	1,40	1,40	1,40
Zugpfähle (nur in Ausnahmefällen)	$\gamma_{s,t}$	1,50	1,50	1,50

Tabelle 21:Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände von Bauteilen und Boden

4.2 Nachweise für Bohrpfahlwände

Die maximalen Verformungen der Verbauwände sollen nicht größer als 20 mm sein, siehe Tabelle 22:

	Verformung [mm]	
	BS-T	BS-A
System 1	2,2	1,3
System 2	1,7	1,9

Tabelle 22: Max. Verformungen der Verbauwände

Die Bemessung erfolgt auf Grundlage des EC 7 (DIN EN 1997-1) in Kombination mit DIN 1054:2010-12 für die Bemessungssituationen BS-T und BS-A . Die Berechnung der ausgesteiften Bohrpfahlwand erfolgt mit dem Programm GGU-RETAIN. Es wird der aktive Erddruck angesetzt.

Die Ausnutzungsgrade der verschiedenen Nachweise sind Tabelle 23 und Tabelle 24 zu entnehmen:

Nachweise	BS-T	BS-A
Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit	0,90	0,86
Nachweis Fußauflager	1,0	1,0
Nachweis Aufbruchsicherheit nach EB 99	0,28	0,24

Tabelle 23: Ausnutzungsgrade μ für verschiedene Nachweise – System 1

Nachweise	BS-T	BS-A
Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit	0,59	0,49
Nachweis Fußauflager	1,0	1,0
Nachweis Aufbruchsicherheit nach EB 99	0,22	0,19

Tabelle 24: Ausnutzungsgrade μ für verschiedene Nachweise – System 2

4.2.1 Benötigte Bewehrung

Längsbewehrung

Mindestbewehrung BS-T/BS-A: $A_s = 14{,}1\ cm^2$

Schubbewehrung

Mindestbewehrung BS-T/BS-A: $a_{s,b} = 5{,}6\ cm^2/m$

4.2.2 Stabilitätsnachweis der Steifen

In Tabelle 25 werden die max. Normalkräfte der unterschiedlichen Systeme dargestellt:

	Normalkraft $N_{q+g,d}$‘ [kN]	
	BS-T	BS-A
System 1	234,6	321,7
System 2	294,8	457,9

Tabelle 25: Max. Normalkräfte in den Steifen

Die Steife ist gelenkig an die betrachtete Verbauwand und an die gegenüberliegende Wand angeschlossen. Somit wird die Steife ausschließlich durch zentrischen Druck beansprucht. Einwirkungen aus Momenten und Querkräften treten nicht auf.

Der Nachweis gegen Biegeknicken für planmäßig zentrisch belastete Druckstäbe wird nach DIN EN 1993-1:2010 6.3.3 Anhang B geführt.

Max. Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft: N_{Ed} = 458 kN

Profil: HEA 180

Der Nachweis wird für die maßgebende Steife geführt, die sich zwischen Bohrpfahlwand und Bestands-Gewölbe befindet.

Maßgebende Länge: L = 3,5 m

Stabilitätsnachweis zentrische Normalkraft (Gl. 6.46)

Nachweis erfüllt: $N_{Ed} / (\chi_T \cdot N_{Rd}) = 0,55 < 1,0$

Nachweis erfüllt: $N_{Ed} / (\chi_z \cdot N_{Rd}) = 0,67 < 1,0$

4.2.3 Teilflächenpressung Bestandsgewölbe

Entlang des östlichen Widerlagers verläuft der Bestandsbach, der vermutlich durch ein Stahlbeton-Vollrahmentragwerk fließt. Es liegen keine Angaben zur Tragfähigkeit des Bestandsbauwerks vor. Daher wird angenommen, dass in diesem Bereich keine Belastung ausgesetzt werden darf und die Kraft aus der Steife weiter ins Bestandsgewölbe geleitet wird. Die Steifen auf dieser Seite werden mit einer Länge von ca. 3,5 m dimensioniert.

Einwirkende Normalkraft: N_{Ed} = 458 kN

Fläche der Lastplatte: A = 0,5 m · 0,5 m =0,25 m²

Druckkraft aus Steife: $\sigma_{Ed} = N_{Ed} / A = 1,8$ MN/m²

Die minimale Druckfestigkeit, die bei den Bestandserkundungen der Bestandswiderlager gemessen wurde, beträgt: σ_{Rk} = 4,8 MN/m²

Teilsicherheitsbeiwert für unbewehrtes Mauerwerk: γ_M = 1,5 –

Bei einer kurzzeitigen Belastung gilt: $\sigma_{Rd} = \sigma_{Rk} \cdot 1,0 / \gamma_M$

Bemessungswert der aufnehmbaren Normalspannung: σ_{Rd} = 4,8 / 1,5 = 3,2 MN/m²

Nachweis erfüllt: $\sigma_{Ed} \leq \sigma_{Rd}$

4.3 Nachweise der rückverankerten UWB-Sohle

4.3.1 Allgemeines

Die UWB-Sohle ist nicht kraftschlüssig mit den Bohrpfahlwänden verbunden und wird mittels Mikropfählen rückverankert. Der Widerstand der Pfähle ergibt sich über die Mantelreibung einer Schicht. Ein Spitzendruck wird bei Mikropfählen nicht angesetzt.

Mantelreibung Schicht (3.1): $q_{s,k} = 40$ kN/m²

Einbindung in Schicht (3.1): $h = 5{,}0$ m

Durchmesser: $d = 0{,}28$ m

Widerstand des Pfahls: $R_k = q_{s,k} \cdot A = 40 \cdot 0{,}28 \cdot \pi \cdot 5{,}0 = 176$ kN

4.3.2 Nachweis gegen Herausziehen der Pfähle (GEO-2)

Die Tragfähigkeit der einzelnen Zugelemente ist für den Grenzzustand GEO-2 nachzuweisen. Gemäß DIN EN 1997-1 7.3.1 (3) muss die das Versagens gegen das Herausziehen der Pfähle aus dem Boden untersucht werden. Der Nachweis wird nach DIN 1054 7.6.3.1 A(3) geführt:

$$F_{t,d} = F_{t,G,k} \cdot \gamma_G + F_{t,Q,rep} \cdot \gamma_Q - F_{c,G,k} \cdot \gamma_{G,inf} \leq R_{t,d}$$

4.3.2.1 Vorübergehende Bemessungssituation

Einwirkung

Destabilisierende Ständige Einwirkung - Auftrieb: $F_{t,G,k}$

Wasserstand Auftrieb: $w_{sp,BS\text{-}T} = 170$ mNN

UK-UWB-Sohle inkl. Aushubtoleranz: 166 mNN

Wasserdruck unter Sohle: $h_1 = 4$ m — $w = 4 \cdot 10 = 40$ kN/m²

Breite der Sohle: $b = 3{,}0$ m

Auftriebskraft: $F_{t,G,k} = 120$ kN/m

Teilsicherheitsbeiwert für ständige Beanspruchungen: $\gamma_G = 1{,}35$ –

Stabilisierende ständige Einwirkung – Eigengewicht des Rahmens: $F_{c,G,k}$

Wichte UW-Beton: $\gamma_{Beton} = 23$ kN/m³

Höhe x Breite der Sohle : H x B = 1,0 m x 3,0 m

Eigengewicht der Sohle: $F_{c,G,k} = 23 \cdot 1{,}0 \cdot 3{,}0 = 69$ kN/m

Teilsicherheitsbeiwert für stabilisierende Einwirkungen: $\gamma_{G,inf} = 1{,}0$ –

Bemessungswert der Zugbeanspruchung: $F_{t,d} = 120 \cdot 1{,}35 - 69 \cdot 1{,}0 = 93$ kN/m

Widerstand

Gemäß DIN 1054 7.6.3.2 sind für auf Zug beanspruchte Mikropfähle nach DIN EN 14199 an mind. 3% der vorgesehenen Anzahl der Pfähle, mindestens aber an 2 Pfählen statische Pfahlprobebelastungen durchzuführen.

Streuungsfaktor für n=2: $\xi_1 = 1{,}25$ –

Teilsicherheitsbeiwert für Mantelwiderstand (Zug): $\gamma_s = 1{,}15$-

Gemäß DIN 1054/A1:2012-08 7.6.3.2 wird der Modellfaktor unabhängig von der Pfahlneigung definiert.

Modellfaktor: $\eta_M = 1{,}25$ -

Widerstand bei Zugbelastung je Pfahl: $R_{t,d} = R_{t,k} / \gamma_{s,t} / \xi_1 / \eta_M$

$R_{t,d} = 176 / 1{,}15 / 1{,}25 / 1{,}25 = 98$ kN

Anzahl der Pfähle in Querrichtung: n = 2 –

Abstand der Pfähle in Längsrichtung: l = 2 m

Widerstand bei Zugbelastung: $R_{t,d} = 98$ kN · 2 / 2 m = 98 kN/m

Nachweis

Nachweis erfüllt: $F_{t,d} = 93$ kN/m ≤ $R_{t,d} = 98$ kN/m

4.3.2.2 Außergewöhnliche Bemessungssituation – Ankerausfall

Einwirkung

Destabilisierende Ständige Einwirkung - Auftrieb: $F_{t,G,k}$

Wasserstand Auftrieb: $w_{sp,BS-A} = 171$ mNN

UK-UWB-Sohle inkl. Aushubtoleranz: 166 mNN

Wasserdruck unter Sohle: $h_1 = 5$ m — w = 5 · 10 = 50 kN/m²

Breite der Sohle: b = 3,0 m

Auftriebskraft: $F_{t,G,k} = 150$ kN/m

Teilsicherheitsbeiwert für ständige Beanspruchungen: $\gamma_{G,BS-A} = 1{,}0$ –

Stabilisierende ständige Einwirkung – Eigengewicht des Rahmens: $F_{c,G,k}$

Wichte UW-Beton: $\gamma_{Beton} = 23$ kN/m³

Höhe x Breite der Sohle : H x B = 1,0 m x 3,0 m

Eigengewicht der Sohle: $F_{c,G,k} = 23 \cdot 1{,}0 \cdot 3{,}0 = 69$ kN/m

Teilsicherheitsbeiwert für stabilisierende Einwirkungen: $\gamma_{G,inf} = 1{,}0$ –

Bemessungswert der Zugbeanspruchung: $F_{t,d} = 150 \cdot 1{,}0 – 69 \cdot 1{,}0 = 81$ kN/m

Widerstand

Gemäß DIN 1054 7.6.3.2 sind für auf Zug beanspruchte Mikropfähle nach DIN EN 14199 an mind. 3% der vorgesehenen Anzahl der Pfähle, mindestens aber an 2 Pfählen statische Pfahlprobebelastungen durchzuführen.

Streuungsfaktor für n=2: $\xi_1 = 1{,}25$ –

Teilsicherheitsbeiwert für Mantelwiderstand (Zug): $\gamma_s = 1{,}15$-

Gemäß DIN 1054/A1:2012-08 7.6.3.2 wird der Modellfaktor unabhängig von der Pfahlneigung definiert.

Modellfaktor: $\eta_M = 1{,}25$ -

Widerstand bei Zugbelastung je Pfahl: $R_{t,d} = R_{t,k} / \gamma_{s,t} / \xi_1 / \eta_M$

$R_{t,d} = 176 / 1,15 / 1,25 / 1,25 = 98$ kN

Anzahl der Pfähle in Querrichtung: n = 2 –

Abstand der Pfähle in Längsrichtung: l = 1,7 m

Abstand der Pfähle in Längsrichtung bei Ankerausfall: l = 2,55 m

Widerstand bei Zugbelastung: $R_{t,d} = 98$ kN · 1,7 m = 57,6 kN/m

Widerstand bei Zugbelastung bei Ankerausfall: $R_{t,d} = 98$ kN · 2,55 m = 38,4 kN/m

Gesamtwiderstand bei Zugbelastung: $R_{t,d,ges} = 96$ kN/m

Nachweis

Nachweis erfüllt: $F_{t,d} = 81$ kN/m ≤ $R_{t,d} = 96$ kN/m

4.3.3 Nachweis gegen Aufschwimmen (UPL)

Die Tragfähigkeit der Zugelemente ist für den Grenzzustand UPL nachzuweisen. Gemäß DIN EN 1997-1 7.3.1 (3) muss die das Versagens gegen das Aufschwimmen des Bodenblocks, der die Pfähle hält, untersucht werden. Der Nachweis wird nach DIN 1054 7.6.3.1 A(4) geführt:

$$G_{dst,k} \cdot \gamma_{G,dst} + Q_{dst,rep} \cdot \gamma_{Q,dst} \leq G_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb} + G_{E,k} \cdot \gamma_{G,stb}$$

4.3.3.1 Vorübergehende Bemessungssituation

Einwirkung

Destabilisierende Ständige Einwirkung - Auftrieb: $G_{dst,k}$

Auftriebskraft (Kapitel 4.3.2.1): $G_{dst,k} = 120$ kN/m

Teilsicherheitsbeiwert für destabilisierende Beanspruchungen: $\gamma_{G,dst} = 1,05$ –

Widerstand

Stabilisierende ständige Einwirkung: $G_{stb,k}$

Eigengewicht der Sohle: $G_{stb,k} = 69$ kN/m

Stabilisierende ständige Einwirkung – Bodenblock: $G_{E,k}$

$$G_{E,k} = n_z \cdot [l_a \cdot l_b (L - 1/3 \cdot \sqrt{(l_a^2 + l_b^2)} \cdot \cot \varphi)] \cdot \eta_z \cdot \gamma$$

Länge der Zugpfähle: L = 6 m

Größeres Rastermaß der Pfahlgruppe: $l_a = 2$ m

Kleineres Rastermaß der Pfahlgruppe: $l_b = 1,2$ m

Anzahl der Zugpfähle: $n_z = 2 / 2$ m

Wichte des Bodens: $\gamma' = 11$ kN/m³

Anpassungsfaktor: $\eta_z = 0,8$ –

Gewicht des Bodenblocks:

$$G_{E,k} = 2 \cdot 1{,}2 \cdot [6 - 1/3 \cdot \sqrt{(2^2 + 1{,}2^2)} \cdot \cot(25°)] \cdot 0{,}8 \cdot 11 = 91{,}5 \text{ kN/m}$$

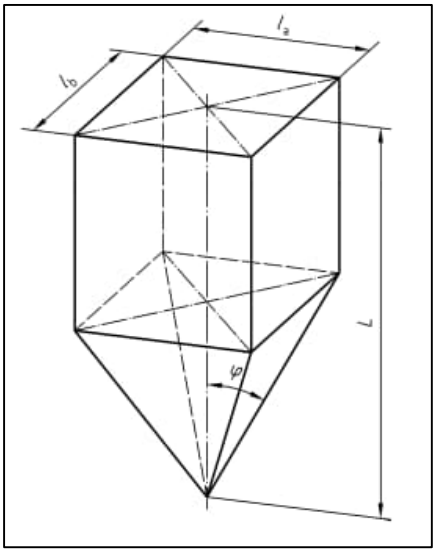


Abbildung 14: Geometrie des an einem Einzelpfahl angehängten Bodens einer Pfahlgruppe – DIN 1054

Teilsicherheitsbeiwert stabilisierender Einwirkungen: $\gamma_{G,stb} = 0{,}95$ –

Nachweis

Nachweis erfüllt: $120 \cdot 1{,}05 = 126 \text{ kN/m} \leq (69 + 91{,}5) \cdot 0{,}95 = 152{,}5 \text{ kN/m}$

4.3.3.2 Außergewöhnliche Bemessungssituation – Ankerausfall

Einwirkung

Destabilisierende Ständige Einwirkung - Auftrieb: $G_{dst,k}$

Auftriebskraft (Kapitel 4.3.2.2): $G_{dst,k} = 150$ kN/m

Teilsicherheitsbeiwert für destabilisierende Beanspruchungen: $\gamma_{G,dst,BS-A} = 1{,}0$ –

Widerstand

Stabilisierende ständige Einwirkung: $G_{stb,k}$

Eigengewicht der Sohle: $G_{stb,k} = 69$ kN/m

Stabilisierende ständige Einwirkung – Bodenblock: $G_{E,k}$

$$G_{E,k} = n_z \cdot [l_a \cdot l_b (L - 1/3 \cdot \sqrt{(l_a^2 + l_b^2)} \cdot \cot \varphi)] \cdot \eta_z \cdot \gamma$$

Länge der Zugpfähle: $L = 6$ m

Größeres Rastermaß der Pfahlgruppe: $l_a = 1{,}7$ m

Kleineres Rastermaß der Pfahlgruppe: $l_b = 1{,}2$ m

Anzahl der Pfähle in Querrichtung: $n = 2$ –

Abstand der Pfähle in Längsrichtung: l = 1,7 m

Abstand der Pfähle in Längsrichtung bei Ankerausfall: l = 2,55 m

Wichte des Bodens: γ ' = 11 kN/m³

Anpassungsfaktor: η_z = 0,8 –

Gewicht des Bodenblocks pro Pfahl:

$$G_{E,k} = 1{,}7 \cdot 1{,}2 \cdot [6 - 1/3 \cdot \sqrt{(1{,}7^2 + 1{,}2^2)} \cdot \cot(25°)] \cdot 0{,}8 \cdot 11 = 81 \text{ kN}$$

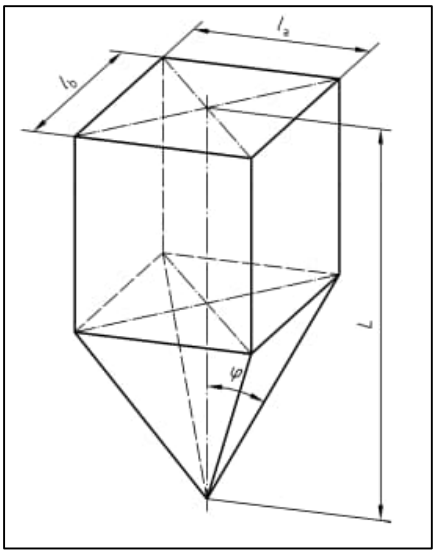


Abbildung 15: Geometrie des an einem Einzelpfahl angehängten Bodens einer Pfahlgruppe – DIN 1054

Bodenblockgewicht pro Pfahlreihe: $G_{E,k}$ / 1,7 = 47,7 kN/m

Gewicht des Bodenblocks pro Pfahl bei Ankerausfall:

$$G_{E,k} = 2{,}55 \cdot 1{,}2 \cdot [6 - 1/3 \cdot \sqrt{(2{,}55^2 + 1{,}2^2)} \cdot \cot(25°)] \cdot 0{,}8 \cdot 11 = 107{,}3 \text{ kN}$$

Bodenblockgewicht pro Pfahlreihe bei Ankerausfall: $G_{E,k}$ / 2,55 = 42,1 kN/m

Gesamtes Bodenblockgewicht: $G_{E,k}$ = 47,7 + 42,1 = 89,7 kN/m

Teilsicherheitsbeiwert stabilisierender Einwirkungen: $\gamma_{G,stb}$ = 0,95 –

Nachweis

Nachweis erfüllt: 150 · 1,0 = 150 kN/m ≤ (69 + 89,7) · 0,95 = 150,8 kN/m

4.3.4 Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch

Nach EAB muss zusätzlich zum Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen auch der Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch geführt werden, sofern

- *die Baugrubenwände nur wenig tief in die annähernd wasserundurchlässige Schicht einbinden,*
- *die Baugrubenwände in eine Schicht einbinden, deren Durchlässigkeit weniger als zwei Zehnerpotenzen kleiner ist als die des übrigen Bodens.*

Die UWB-Sohle ist sehr schwach durchlässig. Daher kann ein hydraulischer Grundbruch ausgeschlossen werden.

4.3.5 Stabilitätsnachweis der Mikropfähle

Gemäß Handbuch EC-7-1 müssen schlanke Pfähle, die teilweise im Wasser oder in sehr weichen Sedimenten größerer Dicke stehen, auf Knicken untersucht werden. Ohne Bezug auf die Schlankheit heißt es weiter, dass in der Regel kein Knicknachweis zu fordern ist, wenn die Pfähle von Böden mit einer charakteristischen Scherfestigkeit im undränierten Zustand mit eine Wert $c_{u,k}$ > 10 kN/m² umschlossen sind.

Undränierte Scherfestigkeit Schluff (2): $c_{u,k,Schluff}$ = 20 – 50 kN/m²

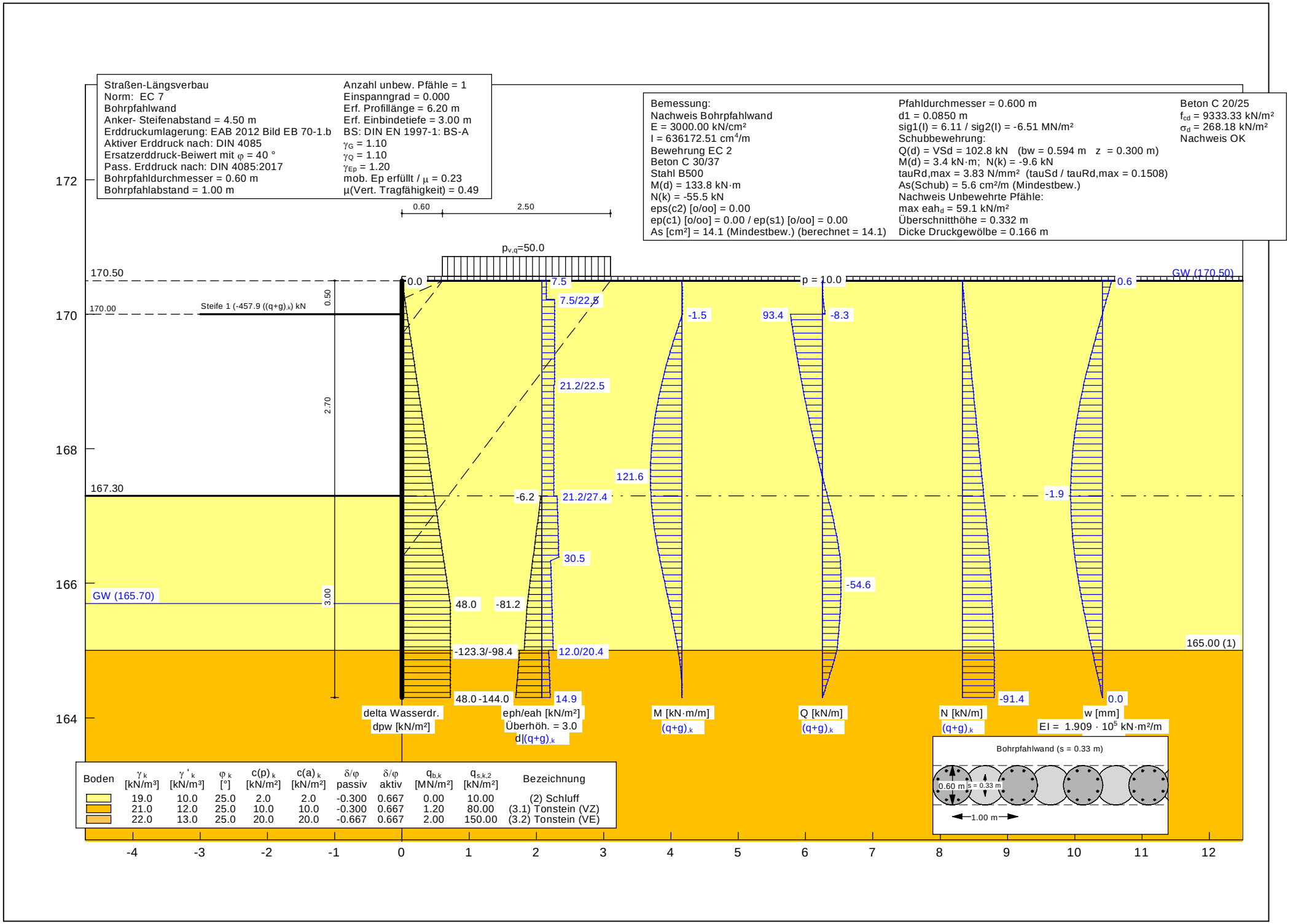
Undränierte Scherfestigkeit Tonstein (3): $c_{u,k,Tonstein}$ = 100 – 500 kN/m²

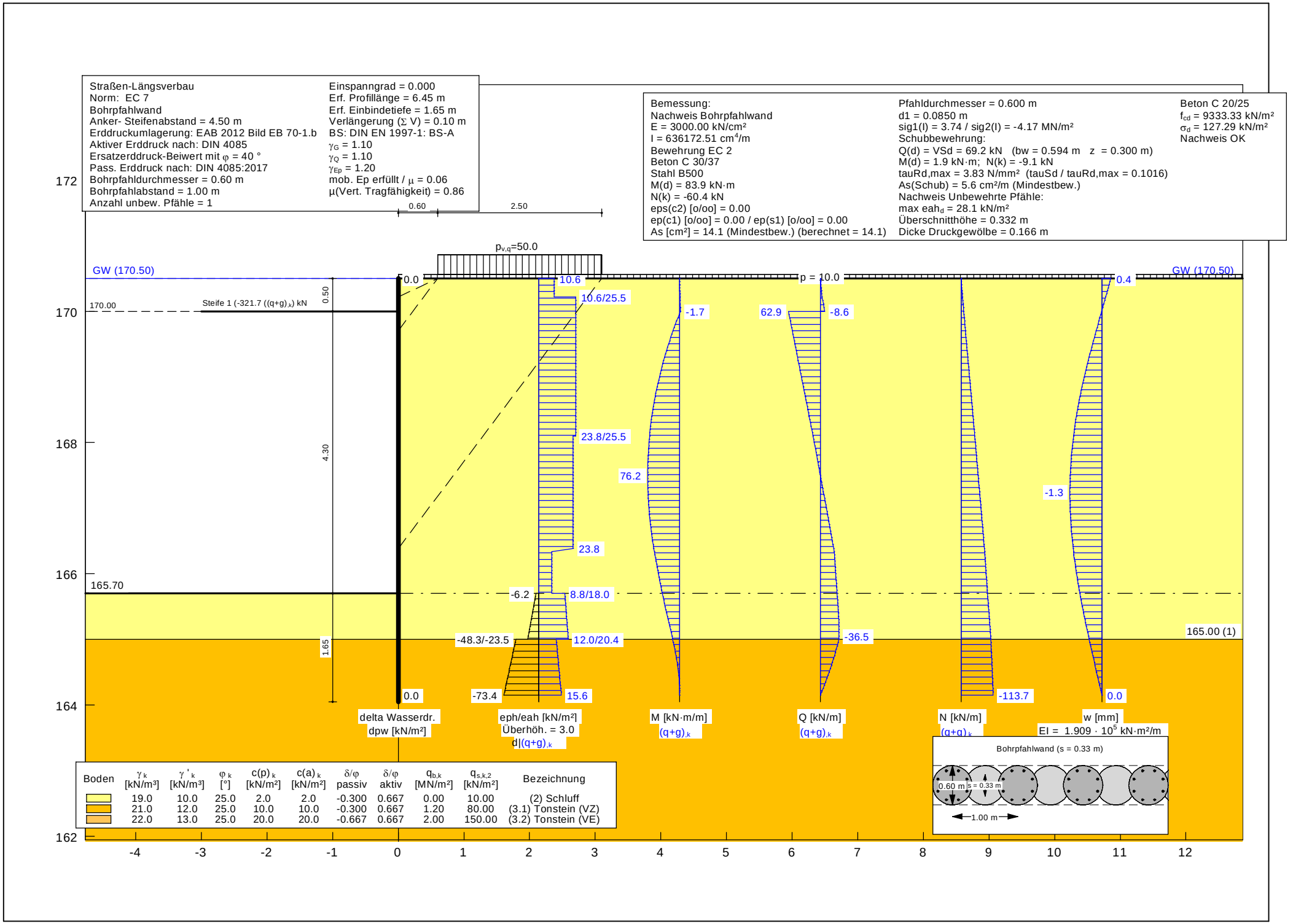
Da die vorliegende Scherfestigkeit gemäß Bodengutachten $c_{u,k}$ > 10 kN/m², kann der Knicknachweis für die Mikropfähle entfallen.

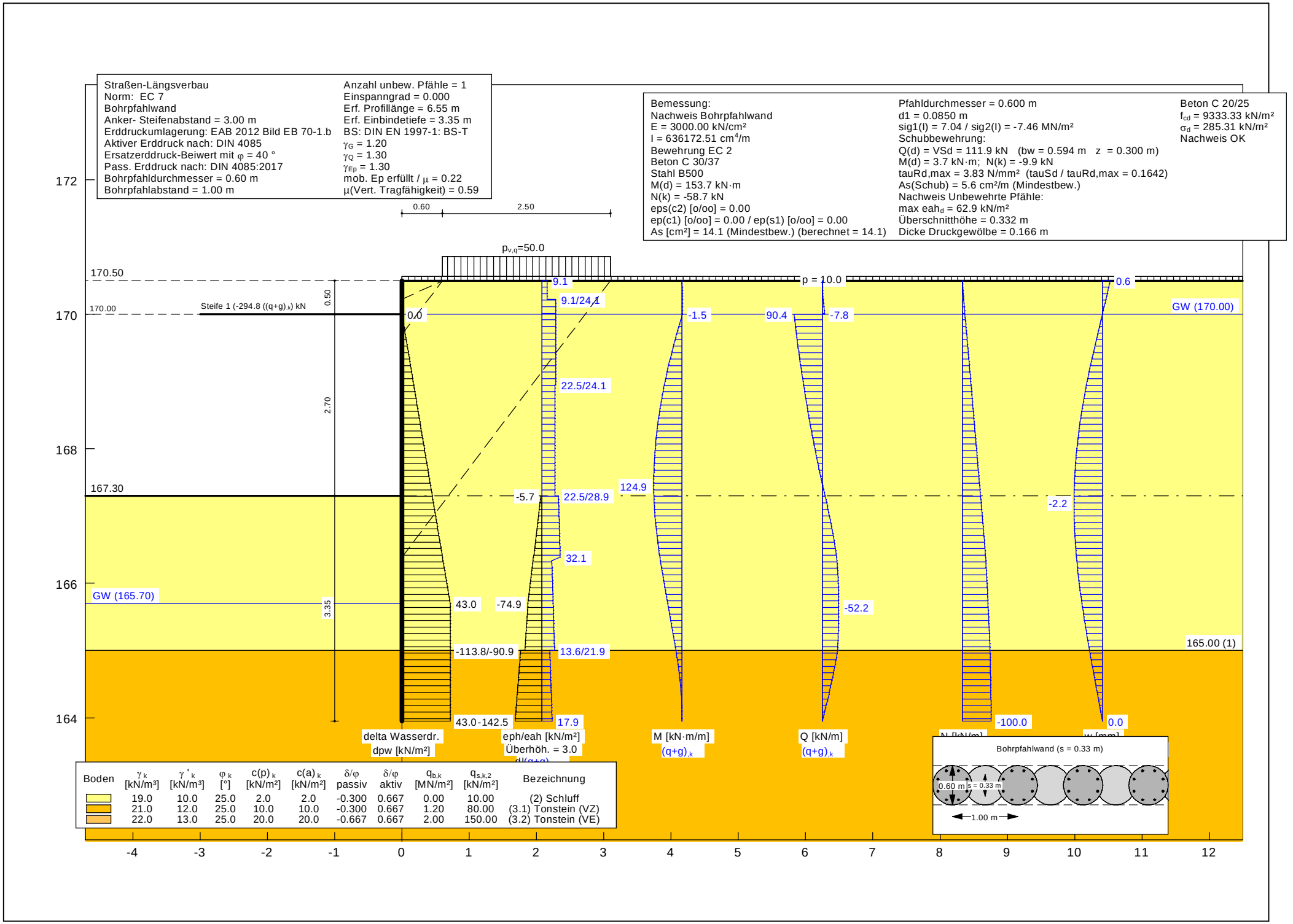
5 EDV-Ausdrucke

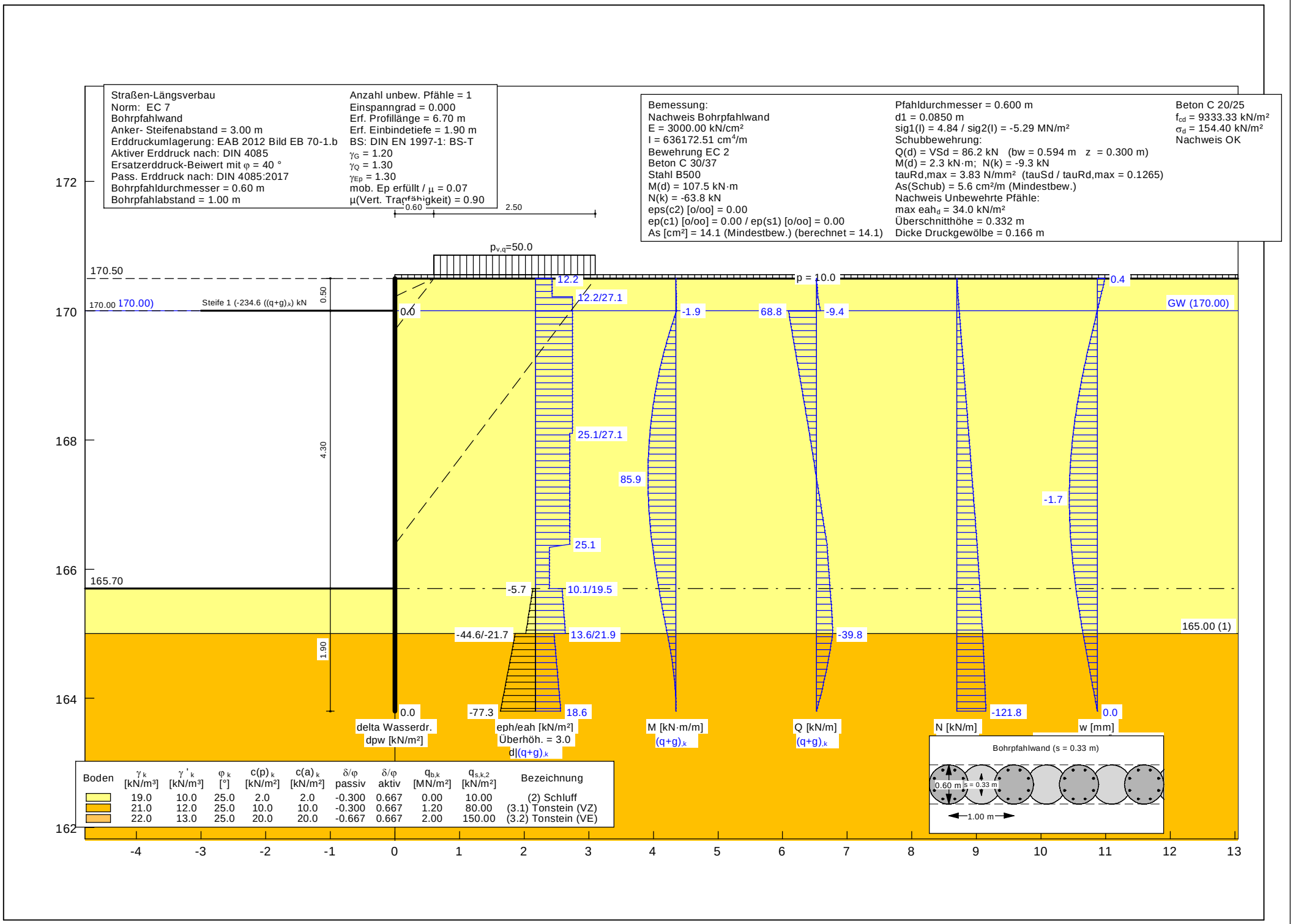
Anlage 1-4: GGU-RETAIN-Druckliste

Anlage 5: Stabilitätsnachweis STX+ 02/21 (FRILO R-2021-2/P06)


Straßen-Längsverbau
Norm: EC 7
Bohrpfahlwand
Anker- Steifenabstand = 4.50 m
Erddruckumlagerung: EAB 2012 Bild EB 70-1.b
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085
Ersatzerddruck-Beiwert mit φ = 40 °
Pass. Erddruck nach: DIN 4085:2017
Bohrpfahldurchmesser = 0.60 m
Bohrpfahlabstand = 1.00 m
Anzahl unbew. Pfähle = 1
Einspanngrad = 0.000
Erf. Profillänge = 6.20 m
Erf. Einbindetiefe = 3.00 m
BS: DIN EN 1997-1: BS-A
γG = 1.10
γQ = 1.10
γEp = 1.20
mob. Ep erfüllt / μ = 0.23
μ(Vert. Tragfähigkeit) = 0.49
Bemessung:
Nachweis Bohrpfahlwand
E = 3000.00 kN/cm²
I = 636172.51 cm⁴/m
Bewehrung EC 2
Beton C 30/37
Stahl B500
M(d) = 133.8 kN·m
N(k) = -55.5 kN
eps(c2) [o/oo] = 0.00
ep(c1) [o/oo] = 0.00 / ep(s1) [o/oo] = 0.00
As [cm²] = 14.1 (Mindestbew.) (berechnet = 14.1)
Pfahldurchmesser = 0.600 m
d1 = 0.0850 m
sig1(I) = 6.11 / sig2(I) = -6.51 MN/m²
Schubbewehrung:
Q(d) = VSd = 102.8 kN (bw = 0.594 m z = 0.300 m)
M(d) = 3.4 kN·m; N(k) = -9.6 kN
tauRd,max = 3.83 N/mm² (tauSd / tauRd,max = 0.1508)
As(Schub) = 5.6 cm²/m (Mindestbew.)
Nachweis Unbewehrte Pfähle:
max eah_d = 59.1 kN/m²
Überschnitthöhe = 0.332 m
Dicke Druckgewölbe = 0.166 m
Beton C 20/25
f_cd = 9333.33 kN/m²
σ_d = 268.18 kN/m²
Nachweis OK
0.60
2.50
p_v,q=50.0
170.50
170.00
Steife 1 (-457.9 ((q+g)_k) kN
0.50
2.70
3.00
167.30
GW (165.70)
0.0
7.5
7.5/22.5
21.2/22.5
-6.2
21.2/27.4
30.5
48.0
-81.2
-123.3/-98.4
12.0/20.4
48.0 -144.0
14.9
p = 10.0
-1.5
121.6
93.4
-8.3
-54.6
0.6
GW (170.50)
-1.9
-91.4
0.0
165.00 (1)
delta Wasserdr.
dpw [kN/m²]
eph/eah [kN/m²]
Überhöh. = 3.0
d](q+g)_k
M [kN·m/m]
(q+g)_k
Q [kN/m]
(q+g)_k
N [kN/m]
(q+g)_k
w [mm]
EI = 1.909 · 10⁵ kN·m²/m
Boden
γ_k [kN/m³]
γ'_k [kN/m³]
φ_k [°]
c(p)_k [kN/m²]
c(a)_k [kN/m²]
δ/φ passiv
δ/φ aktiv
q_b,k [MN/m²]
q_s,k,2 [kN/m²]
Bezeichnung
19.0 10.0 25.0 2.0 2.0 -0.300 0.667 0.00 10.00 (2) Schluff
21.0 12.0 25.0 10.0 10.0 -0.300 0.667 1.20 80.00 (3.1) Tonstein (VZ)
22.0 13.0 25.0 20.0 20.0 -0.667 0.667 2.00 150.00 (3.2) Tonstein (VE)
Bohrpfahlwand (s = 0.33 m)
0.60 m
s = 0.33 m
1.00 m
172
170
168
166
164
-4
-3
-2
-1
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12


Straßen-Längsverbau
Norm: EC 7
Bohrpfahlwand
Anker- Steifenabstand = 4.50 m
Erddruckumlagerung: EAB 2012 Bild EB 70-1.b
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085
Ersatzerddruck-Beiwert mit φ = 40 °
Pass. Erddruck nach: DIN 4085:2017
Bohrpfahldurchmesser = 0.60 m
Bohrpfahlabstand = 1.00 m
Anzahl unbew. Pfähle = 1
Einspanngrad = 0.000
Erf. Profillänge = 6.45 m
Erf. Einbindetiefe = 1.65 m
Verlängerung (Σ V) = 0.10 m
BS: DIN EN 1997-1: BS-A
γG = 1.10
γQ = 1.10
γEp = 1.20
mob. Ep erfüllt / μ = 0.06
μ(Vert. Tragfähigkeit) = 0.86
Bemessung:
Nachweis Bohrpfahlwand
E = 3000.00 kN/cm²
I = 636172.51 cm⁴/m
Bewehrung EC 2
Beton C 30/37
Stahl B500
M(d) = 83.9 kN·m
N(k) = -60.4 kN
eps(c2) [o/oo] = 0.00
ep(c1) [o/oo] = 0.00 / ep(s1) [o/oo] = 0.00
As [cm²] = 14.1 (Mindestbew.) (berechnet = 14.1)
Pfahldurchmesser = 0.600 m
d1 = 0.0850 m
sig1(I) = 3.74 / sig2(I) = -4.17 MN/m²
Schubbewehrung:
Q(d) = VSd = 69.2 kN (bw = 0.594 m z = 0.300 m)
M(d) = 1.9 kN·m; N(k) = -9.1 kN
tauRd,max = 3.83 N/mm² (tauSd / tauRd,max = 0.1016)
As(Schub) = 5.6 cm²/m (Mindestbew.)
Nachweis Unbewehrte Pfähle:
max eah_d = 28.1 kN/m²
Überschnitthöhe = 0.332 m
Dicke Druckgewölbe = 0.166 m
Beton C 20/25
f_cd = 9333.33 kN/m²
σ_d = 127.29 kN/m²
Nachweis OK
0.60
2.50
p_v,q=50.0
GW (170.50)
GW (170.50)
170.00
Steife 1 (-321.7 ((q+g)_k) kN
0.50
4.30
1.65
165.70
p = 10.0
0.0
10.6
10.6/25.5
23.8/25.5
23.8
-6.2
8.8/18.0
-48.3/-23.5
12.0/20.4
-73.4
15.6
0.0
-1.7
76.2
62.9
-8.6
-36.5
-113.7
0.4
-1.3
0.0
165.00 (1)
172
170
168
166
164
162
-4
-3
-2
-1
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
delta Wasserdr.
dpw [kN/m²]
eph/eah [kN/m²]
Überhöh. = 3.0
d|(q+g)_k
M [kN·m/m]
(q+g)_k
Q [kN/m]
(q+g)_k
N [kN/m]
(q+g)_k
w [mm]
EI = 1.909 · 10⁵ kN·m²/m
Bohrpfahlwand (s = 0.33 m)
0.60 m
s = 0.33 m
1.00 m
Boden | γ_k [kN/m³] | γ'_k [kN/m³] | φ_k [°] | c(p)_k [kN/m²] | c(a)_k [kN/m²] | δ/φ passiv | δ/φ aktiv | q_b,k [MN/m²] | q_s,k,2 [kN/m²] | Bezeichnung
19.0 | 10.0 | 25.0 | 2.0 | 2.0 | -0.300 | 0.667 | 0.00 | 10.00 | (2) Schluff
21.0 | 12.0 | 25.0 | 10.0 | 10.0 | -0.300 | 0.667 | 1.20 | 80.00 | (3.1) Tonstein (VZ)
22.0 | 13.0 | 25.0 | 20.0 | 20.0 | -0.667 | 0.667 | 2.00 | 150.00 | (3.2) Tonstein (VE)


Straßen-Längsverbau
Norm: EC 7
Bohrpfahlwand
Anker- Steifenabstand = 3.00 m
Erddruckumlagerung: EAB 2012 Bild EB 70-1.b
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085
Ersatzerddruck-Beiwert mit φ = 40 °
Pass. Erddruck nach: DIN 4085:2017
Bohrpfahldurchmesser = 0.60 m
Bohrpfahlabstand = 1.00 m
Anzahl unbew. Pfähle = 1
Einspanngrad = 0.000
Erf. Profillänge = 6.55 m
Erf. Einbindetiefe = 3.35 m
BS: DIN EN 1997-1: BS-T
γG = 1.20
γQ = 1.30
γEp = 1.30
mob. Ep erfüllt / μ = 0.22
μ(Vert. Tragfähigkeit) = 0.59
Bemessung:
Nachweis Bohrpfahlwand
E = 3000.00 kN/cm²
I = 636172.51 cm⁴/m
Bewehrung EC 2
Beton C 30/37
Stahl B500
M(d) = 153.7 kN·m
N(k) = -58.7 kN
eps(c2) [o/oo] = 0.00
ep(c1) [o/oo] = 0.00 / ep(s1) [o/oo] = 0.00
As [cm²] = 14.1 (Mindestbew.) (berechnet = 14.1)
Pfahldurchmesser = 0.600 m
d1 = 0.0850 m
sig1(I) = 7.04 / sig2(I) = -7.46 MN/m²
Schubbewehrung:
Q(d) = VSd = 111.9 kN (bw = 0.594 m z = 0.300 m)
M(d) = 3.7 kN·m; N(k) = -9.9 kN
tauRd,max = 3.83 N/mm² (tauSd / tauRd,max = 0.1642)
As(Schub) = 5.6 cm²/m (Mindestbew.)
Nachweis Unbewehrte Pfähle:
max eah_d = 62.9 kN/m²
Überschnitthöhe = 0.332 m
Dicke Druckgewölbe = 0.166 m
Beton C 20/25
f_cd = 9333.33 kN/m²
σ_d = 285.31 kN/m²
Nachweis OK
0.60
2.50
p_v,q=50.0
170.50
170.00
Steife 1 (-294.8 ((q+g)_k) kN
0.50
2.70
167.30
GW (165.70)
3.35
p = 10.0
9.1
9.1/24.1
0.0
-1.5
90.4
-7.8
0.6
GW (170.00)
22.5/24.1
-5.7
22.5/28.9
124.9
-2.2
32.1
43.0
-74.9
-52.2
-113.8/-90.9
13.6/21.9
165.00 (1)
43.0-142.5
17.9
-100.0
0.0
delta Wasserdr.
dpw [kN/m²]
eph/eah [kN/m²]
Überhöh. = 3.0
M [kN·m/m]
(q+g)_k
Q [kN/m]
(q+g)_k
N [kN/m]
w [mm]
Bohrpfahlwand (s = 0.33 m)
0.60 m
s = 0.33 m
1.00 m
Boden
γ_k [kN/m³]
γ'_k [kN/m³]
φ_k [°]
c(p)_k [kN/m²]
c(a)_k [kN/m²]
δ/φ passiv
δ/φ aktiv
q_b,k [MN/m²]
q_s,k,2 [kN/m²]
Bezeichnung
19.0 10.0 25.0 2.0 2.0 -0.300 0.667 0.00 10.00 (2) Schluff
21.0 12.0 25.0 10.0 10.0 -0.300 0.667 1.20 80.00 (3.1) Tonstein (VZ)
22.0 13.0 25.0 20.0 20.0 -0.667 0.667 2.00 150.00 (3.2) Tonstein (VE)
172
170
168
166
164
-4
-3
-2
-1
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12


Straßen-Längsverbau
Norm: EC 7
Bohrpfahlwand
Anker- Steifenabstand = 3.00 m
Erddruckumlagerung: EAB 2012 Bild EB 70-1.b
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085
Ersatzerddruck-Beiwert mit φ = 40 °
Pass. Erddruck nach: DIN 4085:2017
Bohrpfahldurchmesser = 0.60 m
Bohrpfahlabstand = 1.00 m
Anzahl unbew. Pfähle = 1
Einspanngrad = 0.000
Erf. Profillänge = 6.70 m
Erf. Einbindetiefe = 1.90 m
BS: DIN EN 1997-1: BS-T
γG = 1.20
γQ = 1.30
γEp = 1.30
mob. Ep erfüllt / μ = 0.07
μ(Vert. Tragfähigkeit) = 0.90
Bemessung:
Nachweis Bohrpfahlwand
E = 3000.00 kN/cm²
I = 636172.51 cm⁴/m
Bewehrung EC 2
Beton C 30/37
Stahl B500
M(d) = 107.5 kN·m
N(k) = -63.8 kN
eps(c2) [o/oo] = 0.00
ep(c1) [o/oo] = 0.00 / ep(s1) [o/oo] = 0.00
As [cm²] = 14.1 (Mindestbew.) (berechnet = 14.1)
Pfahldurchmesser = 0.600 m
d1 = 0.0850 m
sig1(I) = 4.84 / sig2(I) = -5.29 MN/m²
Schubbewehrung:
Q(d) = VSd = 86.2 kN (bw = 0.594 m z = 0.300 m)
M(d) = 2.3 kN·m; N(k) = -9.3 kN
tauRd,max = 3.83 N/mm² (tauSd / tauRd,max = 0.1265)
As(Schub) = 5.6 cm²/m (Mindestbew.)
Nachweis Unbewehrte Pfähle:
max eah_d = 34.0 kN/m²
Überschnitthöhe = 0.332 m
Dicke Druckgewölbe = 0.166 m
Beton C 20/25
f_cd = 9333.33 kN/m²
σ_d = 154.40 kN/m²
Nachweis OK
0.60
2.50
p_v,q=50.0
170.50
170.00
170.00)
Steife 1 (-234.6 ((q+g)_k) kN
0.50
4.30
1.90
165.70
p = 10.0
GW (170.00)
165.00 (1)
12.2
12.2/27.1
0.0
-1.9
68.8
-9.4
0.4
25.1/27.1
85.9
-1.7
25.1
-5.7
10.1/19.5
-44.6/-21.7
13.6/21.9
-39.8
-77.3
18.6
-121.8
0.0
delta Wasserdr.
dpw [kN/m²]
eph/eah [kN/m²]
Überhöh. = 3.0
d|(q+g)_k
M [kN·m/m]
(q+g)_k
Q [kN/m]
(q+g)_k
N [kN/m]
w [mm]
Bohrpfahlwand (s = 0.33 m)
0.60 m
s = 0.33 m
1.00 m
Boden | γ_k [kN/m³] | γ'_k [kN/m³] | φ_k [°] | c(p)_k [kN/m²] | c(a)_k [kN/m²] | δ/φ passiv | δ/φ aktiv | q_b,k [MN/m²] | q_s,k,2 [kN/m²] | Bezeichnung
19.0 | 10.0 | 25.0 | 2.0 | 2.0 | -0.300 | 0.667 | 0.00 | 10.00 | (2) Schluff
21.0 | 12.0 | 25.0 | 10.0 | 10.0 | -0.300 | 0.667 | 1.20 | 80.00 | (3.1) Tonstein (VZ)
22.0 | 13.0 | 25.0 | 20.0 | 20.0 | -0.667 | 0.667 | 2.00 | 150.00 | (3.2) Tonstein (VE)
172
170
168
166
164
162
-4
-3
-2
-1
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13

Position: Baugrube Beverbach Steife Beverbach

Stabilitätsnachweis STX+ 01/22 (FRILO R-2022-1/P02)

Grundparameter

Einstellungen zur Tragsicherheit

Querschnittsbemessung : plastisch
Stabilitätsnachweis nach : 6.3.3 - Anhang B

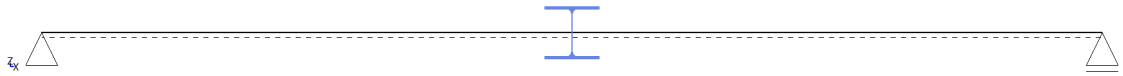
Norm und Sicherheitskonzept

Bemessungsnorm : EN 1993-1-1:2010
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik : EN 1990:2002/AC:2010

System

Systemgrafik

Maßstab 1 : 25



Trägerlänge : 3.50 m

Material S235

	E_k	=	210000	N/mm²	G_k	=	80769 N/mm²
	γ	=	78.50	kN/m³	μ	=	0.30
Streckgrenze	t	≤	40	mm	f_{yk}	=	235.00 N/mm²
	t	≤	80	mm	f_{yk}	=	215.00 N/mm²
Zugfestigkeit	t	≤	40	mm	f_{uk}	=	360.00 N/mm²
	t	≤	80	mm	f_{uk}	=	360.00 N/mm²

Querschnitt - HEA 180

Profil	h	=	171	mm				
Steg (lichte Höhe)	h_1	=	122	mm	s	=	6	mm
Ober- und Untergurt	b	=	180	mm	t	=	10	mm
Ausrundung	r	=	15	mm				
Fläche	A	=	45.3	cm²				
Statische Werte	I_y	=	2510.0	cm⁴	W_y	=	294.0	cm³
	I_z	=	925.0	cm⁴	W_z	=	103.0	cm³

Lagerbedingungen - Verschiebungen,Verdrehungen

Nr	x [m]	Verschiebungen*) ux [kN/m]	uy [kN/m]	uz [kN/m]	Verdrehungen*) Φx [kNm/rad]	Φy [kNm/rad]	Φz [kNm/rad]
1	0.00	-1	-1	-1	-1	0.0	0.0
2	3.50	0.00	-1	-1	-1	0.0	0.0

*) -1 = starr, 0 = frei, > 0 = elastisch

Belastung

Belastung

Schnittgrößen

x [m]	N_{Ed} [kN]	$V_{z,Ed}$ [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	$V_{y,Ed}$ [kN]	$M_{z,Ed}$ [kNm]
0.00	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
0.18	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
0.37	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
0.55	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
0.74	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00

x [m]	N_{Ed} [kN]	$V_{z,Ed}$ [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	$V_{y,Ed}$ [kN]	$M_{z,Ed}$ [kNm]
0.88	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
0.92	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
1.11	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
1.29	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
1.47	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
1.66	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
1.75	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
1.84	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
2.03	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
2.21	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
2.39	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
2.58	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
2.63	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
2.76	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
2.95	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
3.13	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
3.32	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00
3.50	-458.0	0.0	0.00	0.0	0.00

Ergebnisse

Stabilitätsnachweis zentrische Normalkraft (Gl. 6.46)

$N_{Ed} / (\chi_T * N_{Rd}) = 0.55$ $N_{Ed} / (\chi_z * N_{Rd}) = 0.67$

N_{Ed}	=	458.0 kN	N_{Rk}	=	1064.6 kN
			s_{kz}	=	3.50 m
λ_T	=	0.60	λ_z	=	0.82
$N_{cr,T}$	=	2919.9 kN	$N_{cr,z}$	=	1565.0 kN
χ_T	=	0.78	χ_z	=	0.65
γ_{M1}	=	1.00			

Nachweis bei x = 0.00 m nach Gl. (6.46) erfüllt.