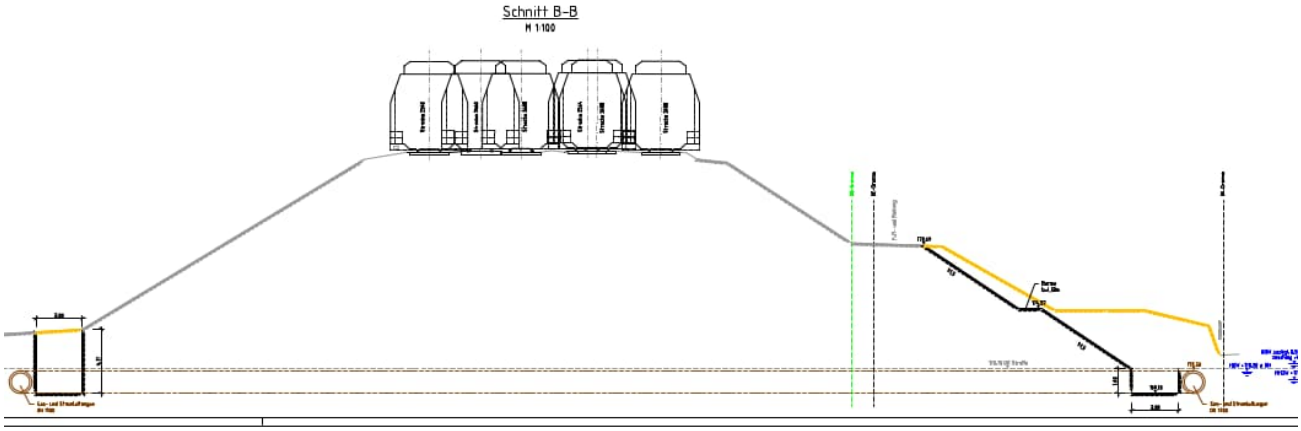
Strecke	2600	km 68,493
Bauwerksnummer	2600/68,493/1615	Entwurfsplanung

Statische Berechnung im Rahmen der Entwurfsplanung Durchpressung



EÜ Drimbornstraße in Aachen

Inhalt

1 Vorbemerkungen 6
1.1 Beschreibung des Tragwerks 6
1.2 Quellen 7
1.2.1 Technische Vorschriften 7
1.2.2 Literatur 8
1.2.1 Programme 8
1.2.2 Gutachten/Aktenvermerke 8
1.3 Lageplan 9
1.4 Materialkennwerte 11
1.4.1 Betonfestigkeitsklasse 11
1.4.2 Eigenschaften der Baustoffe 11
1.4.3 Betondeckung 12
1.5 Mindestabmessungen für Bauteildicken 13
1.5.1 Unterwasserbetonsohle 13
1.5.2 Mikropfähle 14
1.5.3 Rohr 15
1.5.4 Druckübertragungsringe 15
1.6 Baugrundverhältnisse 16
1.6.1 Bodenarten und Schichtenfolge 16
1.6.2 Baugrundaufbau 18
1.6.3 Grundwasser 18
1.6.4 Gründung 18
1.6.5 Einteilung in Bodengruppen 20
2 Darstellung und Beschreibung des statischen Systems 21
2.1 Start- / Zielbaugrube 21
2.1.1 Baugrubenwände 21
2.1.2 Kennwerte für die Bemessung 22
2.1.3 Aussteifung 24
2.1.4 Statisches System 24
2.1.5 Rückverankerte UWB-Sohle 24
2.2 Vortriebsrohre 25
2.2.1 Allgemein 25
2.2.1 Druckübertragungsringe 25
2.2.2 Mikrotunnelbau 26
3 Einwirkungen und Einwirkungskombination 27

3.1 Ständige Einwirkungen ... 27
3.1.1 Eigengewicht des Bauwerks ... 27
3.1.2 Ständiger Erddruck ... 27
3.1.3 Grundwasser ... 27
3.1.1 Fahrbahn ... 28
3.2 Veränderliche Einwirkungen ... 28
3.2.1 Baustellenfahrzeuge ... 28
3.2.2 Eisenbahnverkehr ... 28
3.2.3 Pressenkraft ... 29
4 Nachweise am Gesamtsystem ... 30
4.1 Teilsicherheitsbeiwerte ... 30
4.2 Nachweis für Bohrpfahlwände ... 31
4.2.1 Benötigte Bewehrung ... 31
4.2.2 Stabilitätsnachweis der Steifen ... 32
4.3 Nachweise der rückverankerten UWB-Sohle ... 32
4.3.1 Allgemeines ... 32
4.3.2 Nachweis gegen Herausziehen der Pfähle (GEO-2) ... 32
4.3.3 Nachweis gegen Aufschwimmen (UPL) ... 34
4.3.4 Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch ... 35
4.3.5 Stabilitätsnachweis der Mikropfähle ... 35
4.4 Nachweis der Vortriebsrohre und Druckübertragungsringe ... 35
4.4.1 Bauteilnachweise ... 36
4.4.2 Spannungsnachweise ... 36
4.4.3 Vortriebskraft ... 36
5 EDV-Ausdrucke ... 37

Tabellen

Tabelle 1: Streckenparameter der Strecke 2600 ... 6
Tabelle 2: Betoneigenschaften bewehrter Pfähle ... 11
Tabelle 3: Betoneigenschaften bewehrter Rohre ... 11
Tabelle 4: Betonstahleigenschaften ... 11
Tabelle 5: Betoneigenschaften UWB-Sohle ... 12
Tabelle 6: Stabstahleigenschaften ... 12
Tabelle 7: Holzeigenschaften DÜR ... 12
Tabelle 8: Betondeckung Pfähle ... 12
Tabelle 9: Betondeckung Bohrpfahlwände ... 13

Tabelle 10: Charakteristische Zahlenwerte ausgewählter geotechnischer Kenngrößen (IBES Baugrundgutachten 2024) 18
Tabelle 11: Charakteristische Werte für Mantelreibung $q_{s,k}$ und Spitzenwiderstand $q_{b,k}$ bei Bohrpfählen (Startbaugrube, 2024) 19
Tabelle 12: Charakteristische Werte für Mantelreibung $q_{s,k}$ und Spitzenwiderstand $q_{b,k}$ bei Bohrpfählen (Zielbaugrube, 2024) 19
Tabelle 13: Grenzmantelreibungswerte $q_{s,k}$ für verpresste Mikropfähle nach EA-Pfähle für die Startbaugrube links und die Zielbaugrube rechts 19
Tabelle 14: Kennwerte der Bohrpfahlwand 22
Tabelle 15: Bodenkennwerte 23
Tabelle 16: Kennwerte der Mikropfähle 24
Tabelle 17: Schichtabhängige Bodenwiderstände für Pfähle 25
Tabelle 18: Kennwerte der Druckübertragungsringe 26
Tabelle 19:Teilsicherheitsbeiwerte ständige und vorübergehende Kombination 30
Tabelle 20:Teilsicherheitsbeiwerte Vortriebsrohre 30
Tabelle 21:Teilsicherheitsbeiwerte HYD und UPL 30
Tabelle 22:Teilsicherheitsbeiwerte STR und GEO-2 30
Tabelle 23:Teilsicherheitsbeiwerte ständige und vorübergehende Kombination 31
Tabelle 24:Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände von Bauteilen und Boden 31
Tabelle 25: Ausnutzungsgrade μ für verschiedene Nachweise 31
Tabelle 26: Momenten- und Normalkraftbeiwerte für Auflagerwinkel $2\alpha = 180°$ 36

Abbildungen

Abbildung 1: Draufsicht 9
Abbildung 2: Querschnitt durch Bahndamm mit Startbaugrube 10
Abbildung 3: Querschnitt 10
Abbildung 4: Darstellung der Ausführungssituation für eine Unterwasserbetonsohle, gemäß ZTV-ING 13
Abbildung 5: Plattenverankerung der Mikropfähle bei Zug-/ Druckbeanspruchung 14
Abbildung 6: Federkorbdistanzhalter und -Maße [Zulassung Z-32.1-9] 14
Abbildung 7: Lageplan mit Erkundungspunkten für Rohrvortrieb 16
Abbildung 8: Profile der Rammkernsondierungen RKS1, RKS2 und RKS3 17
Abbildung 9: Bodengruppen nach Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127 20
Abbildung 10: Berechnungswerte für bindige Böden G3, G4 nach DWA-A 161 Tab. 4 20
Abbildung 11: Bohrpfahlwand – Schnitt GGU-RETAIN [m] 21
Abbildung 12: Baugrube ohne UWB-Sohle (links) / Trockenlegung der Baugrube mit UWB-Sohle (rechts) 22

Abbildung 13: Aussteifung 24
Abbildung 14: Stahlbeton-Vortriebsrohr– Schnitt (HABA-BETON) 25
Abbildung 15: Anordnung der Druckübertragungsringe – DWA-A 161 Bild 16 26
Abbildung 16: Lastausbreitung gemäß Ril 836.2001 28
Abbildung 17: Bodenspannungen p infolge Eisenbahnverkehrslasten nach DWA-A 161 28
Abbildung 18: Geometrie des an einem Einzelpfahl angehängten Bodens einer Pfahlgruppe – DIN 1054 35

1 Vorbemerkungen

1.1 Beschreibung des Tragwerks

Die hier vorgelegten Berechnungen betreffen die Durchpressung durch den Bahndamm, die ca. 35 m der Eisenbahnüberführung EÜ Drimbornstraße in Aachen liegen soll. Der Bahndamm überführt die Strecken 2600, 2564 und 2560.

Grundlage der Berechnungen sind die Vor- und Entwurfsplanungspläne der DB Engineering & Consulting GmbH sowie die Baugrundgutachten von IBES.

In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die Streckenparameter zusammengefasst:

Strecke 2600				
Entwurfsgeschwindigkeit (Bahnstrecke)	v_e	=	160	km/h
Bahn-km		=	68,493	km
Überhöhung	u	=	0	mm
Radius	r	=	∞	m
Höhe der Schienenoberkante	H	=	184,8	mNN
Gleislängsneigung	I	=	ca. 2	‰

Tabelle 1: Streckenparameter der Strecke 2600

Auf der Brücke befinden sich 5 Gleise und in unmittelbarer Nähe 5 Weichen. Die Durchpressung soll ca. bei Bahn-km 68,5 erfolgen. In diesem Abschnitt befinden sich ebenfalls 5 Gleise mit 3 Weichen im näheren Bereich. Es handelt sich um die Weichen 02W23 (EW 54-190-1:9), 02W24 (AWB 60-760 1:14) und 02W25 (EW60-760 1:14).

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

Die Standsicherheitsnachweise für die Herstellung erforderlicher bauzeitlicher Baugrubenverbauten sind nicht Gegenstand dieser statischen Berechnung.

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
RiZ-ING	Richtzeichnungen für Ingenieurbauten
EAB	Empfehlung des Arbeitskreises Baugruben 5. Auflage
EA-Pfähle	Empfehlung des Arbeitskreises „Pfähle“ 2. Auflage
Ril 836	Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instandhalten
DIN 1045	Beton und Stahlbeton; Bemessung und Ausführung

DIN EN 1916	Rohre und Formstücke aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton
DIN V 1201	Rohre und Formstücke aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton für Abwasserleitungen und -kanäle - Typ 1 und Typ 2 - Anforderungen, Prüfung und Bewertung der Konformität
DWA-Arbeitsblatt 161	Statische Berechnung von Vortriebsrohren
DVGW-Merkblatt GW312	Statische Berechnung von Vortriebsrohren
DVGW-Merkblatt W304	Rohrvortrieb und verwandte Verfahren
ATV-Merkblatt A125	Rohrvortrieb und verwandte Verfahren
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

1.2.1 Programme

GGU-RETAIN: Berechnung von Verbauwänden, Version 11.31 16.11.2023, Civilserve GmbH

STX+ Stabilitätsnachweis, Version 4.2023.1.257, FRILO Software GmbH

DURO: Vortriebsrohre, Version 22.0, RIB Software GmbH

1.2.2 Gutachten/Aktenvermerke

DB E&C GmbH Vor- und Entwurfsplanung Unterlagen, Stand 19.05.2022

IBES Baugrundinstitut GmbH: Baugrund- und Gründungsgutachten IBES-Projekt-Nr. 13.090.1 vom 15.01.2016 + Objektspezifisches Bodengutachten gemäß DVGW-Arbeitsblatt GW 304 mit zusätzlicher Risikobeurteilung und Prognose der zu erwartenden Oberflächensetzungen im Bereich der Durchpressung IBES-Projekt-Nr. 13.090.5/1 vom 30.01.2024 + diverse Stellungnahmen

1.3 Lageplan

Die EÜ Drimbornstraße wird im südlichen bis mittigen Abschnitt von 5 Gleisen und im nördlichen Drittel von einem Rad- und Fußweg überführt. Parallel zur EÜ wird westlich in einem Abstand von ca. 35 m eine Durchpressung durch den Bahndamm hergestellt. In Abbildung 1 ist die Draufsicht des gesamten Abschnitts dargestellt:

Draufsicht

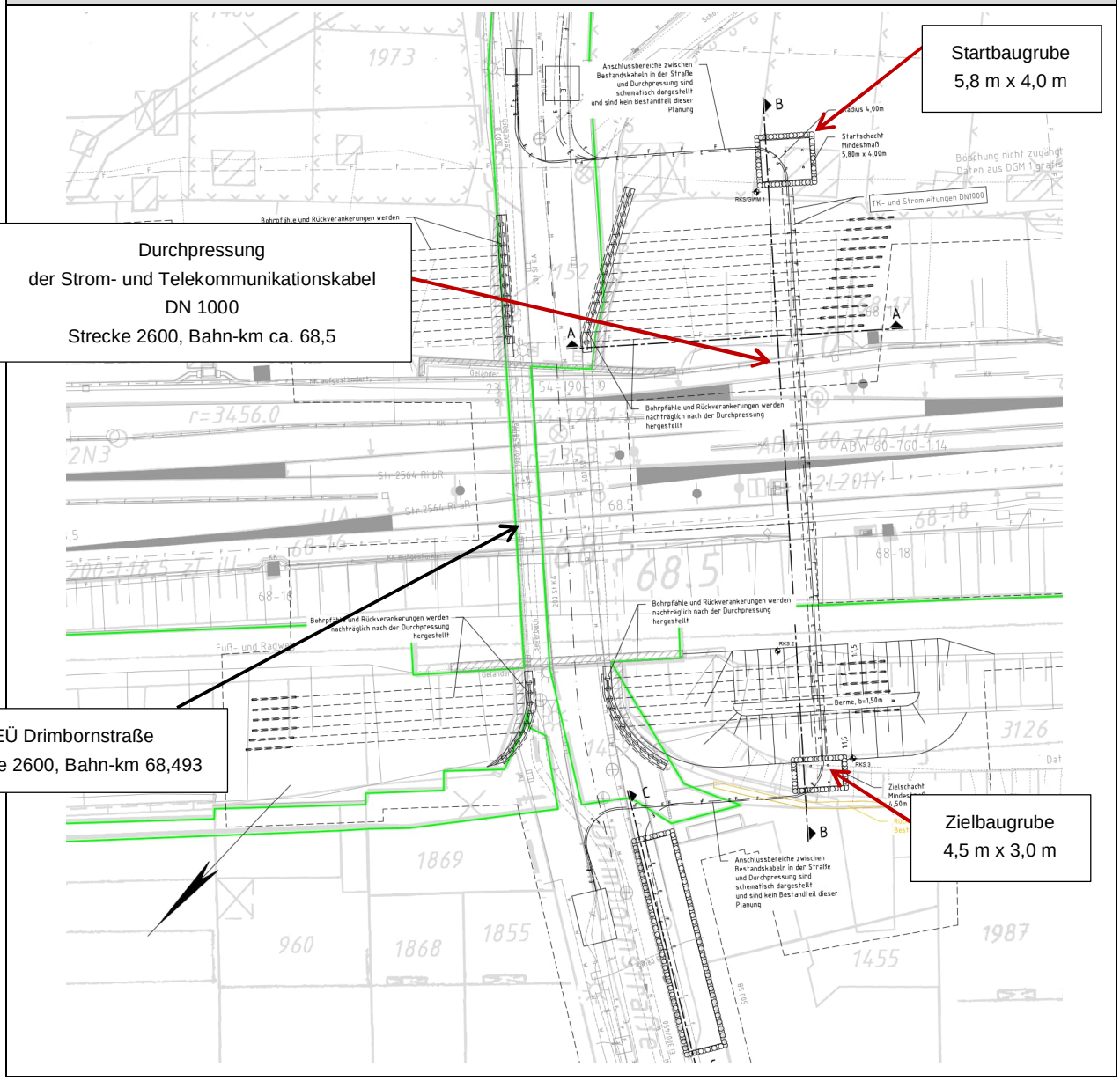


Abbildung 1: Draufsicht

Abbildung 2 zeigt den Querschnitt mit der südlichen Startbaugrube.

Querschnitt

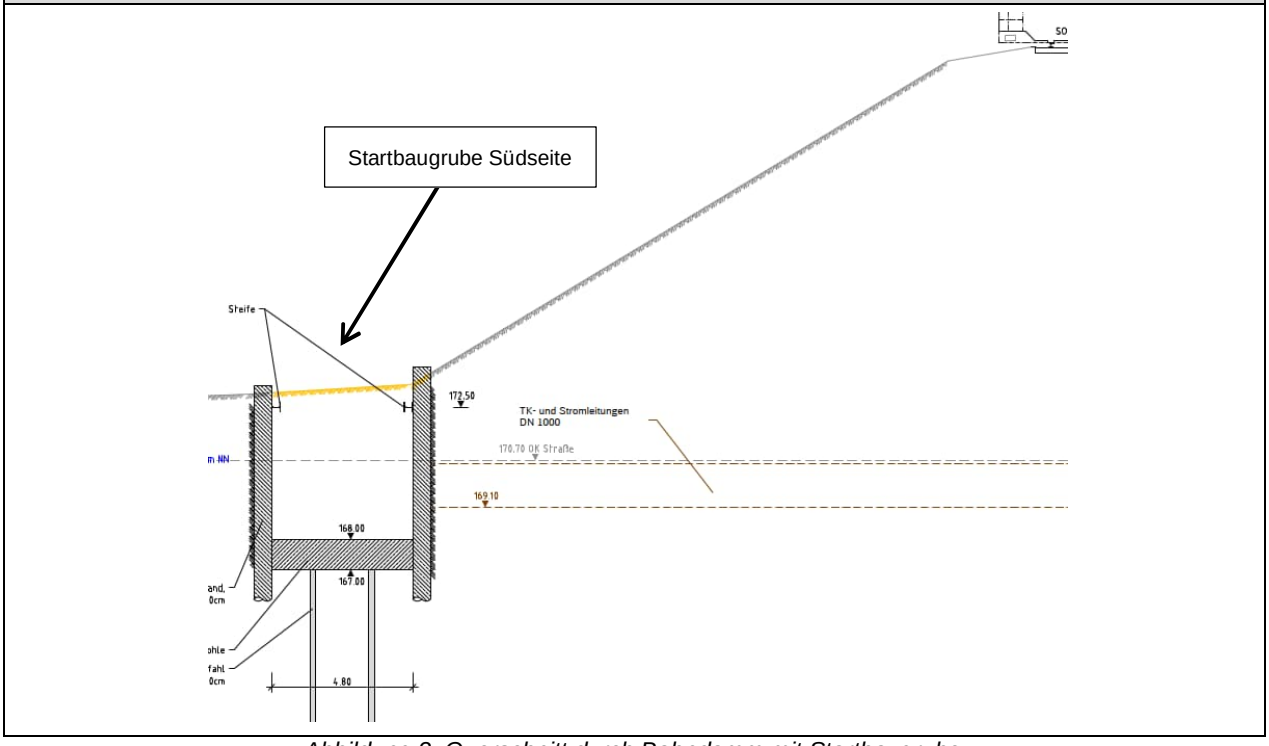


Abbildung 2: Querschnitt durch Bahndamm mit Startbaugrube

In Abbildung 3 ist der Querschnitt mit der Zielbaugrube dargestellt:

Querschnitt

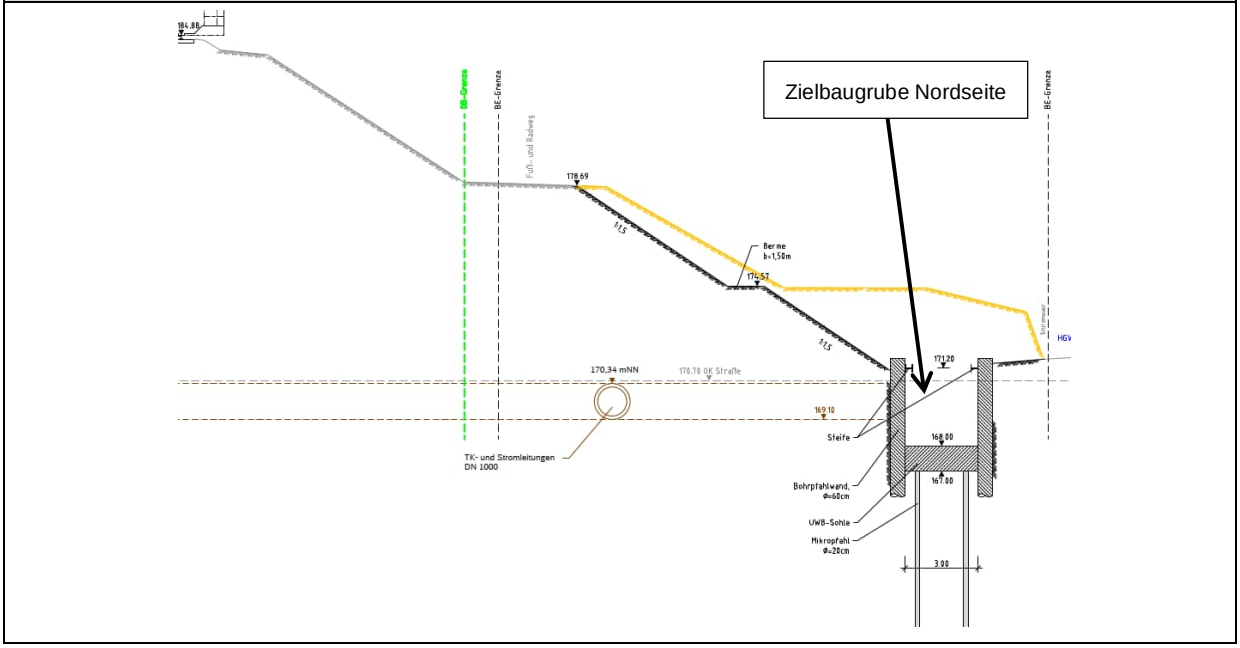


Abbildung 3: Querschnitt

Die Abmessungen der Bauteile sind den Planunterlagen zu entnehmen.

1.4 Materialkennwerte

1.4.1 Betonfestigkeitsklasse

Die Wahl der Betonfestigkeitsklasse hängt von der Expositionsklasse ab. Nach Abschnitt 2(6) der Ril 804.4201 ist für Bauteile von Eisenbahnbrücken im Sprühnebel- und Spritzwasserbereich von Straßen, Rad- und Gehwegen, d.h. mit einem Abstand a < 10 m von der Fahrbahn als tausalzbeansprucht anzusehen. Für diese Bauteile gelten die Anforderungen der ZTV-ING Teil 3 Abschnitt 1, Kapitel 4. Wenn keine Tausalzbeanspruchung vorhanden ist, gilt DIN EN 1992-2.

Ohne Tausalzbeanspruchung ist i.d.R. eine Zuordnung in:

XC1 bis XC4 (Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung),

XF1, XF3 (Frostangriff ohne Taumittel),

XA1 bis XA3 (Betonkorrosion durch chem. Angriff).

1.4.2 Eigenschaften der Baustoffe

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

Beton				
Charakteristischer Wert der Druckfestigkeit	f_{ck}	=	30	MN/m^2
Elastizitätsmodul	E_{cm}	=	33.000	MN/m^2
Mittlere Zugfestigkeit	f_{ctm}	=	2,9	MN/m^2
Temperaturkoeffizient	α_T	=	$10 \cdot 10^{-6}$	K^{-1}

Tabelle 2: Betoneigenschaften bewehrter Pfähle

Für die bewehrten Rohre wird die Betonfestigkeitsklasse C40/50 gewählt, siehe Tabelle 3:

Beton				
Charakteristischer Wert der Druckfestigkeit	f_{ck}	=	40	MN/m^2
Elastizitätsmodul	E_{cm}	=	35.000	MN/m^2
Mittlere Zugfestigkeit	f_{ctm}	=	3,5	MN/m^2
Temperaturkoeffizient	α_T	=	$10 \cdot 10^{-6}$	K^{-1}

Tabelle 3: Betoneigenschaften bewehrter Rohre

Die Eigenschaften des Betonstahls sind nachfolgender Tabelle 4 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 4: Betonstahleigenschaften

Für die unbewehrte Unterwasserbetonsohle wird die Betonfestigkeitsklasse C16/20 gewählt, siehe Tabelle 5:

Beton				
Charakteristischer Wert der Druckfestigkeit	f_{ck}	=	16	MN/m²
Elastizitätsmodul	E_{cm}	=	29.000	MN/m²
Mittlere Zugfestigkeit	f_{ctm}	=	1,9	MN/m²
Temperaturkoeffizient	α_T	=	$10 \cdot 10^{-6}$	K^{-1}

Tabelle 5: Betoneigenschaften UWB-Sohle

Die Mikropfähle werden 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 6 zu entnehmen.

Stabstahl mit Gewinderippen S 555/700				
Durchmesser	d	=	63,5	mm
Charakteristischer Wert der Streckgrenze	f_{yk}	=	555	MN/m²
Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit	$f_{tk,cal}$	=	700	MN/m²
Elastizitätsmodul	E	=	210.000	MN/m²

Tabelle 6: Stabstahleigenschaften

Die Druckübertragungsringe bestehen aus Vollholz. Die Eigenschaften sind Tabelle 7 zu entnehmen:

Vollholz				
Charakteristischer Wert der Längs-Druckfestigkeit	f_k	=	60	MN/m²
Elastizitätsmodul in Achsrichtung	E_{axl}	=	36.800	MN/m²
Mittlere Zugfestigkeit	f_{tm}	=	4,1	MN/m²
Rechenwert der Festigkeit	f_d	=	44,4	MN/m²

Tabelle 7: Holzeigenschaften DÜR

1.4.3 Betondeckung

Für die Bohrpfähle gilt nach DIN 1536 die in Tabelle 8 aufgelistete Betondeckung:

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

Tabelle 8: Betondeckung Pfähle

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

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 9: 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 4 :

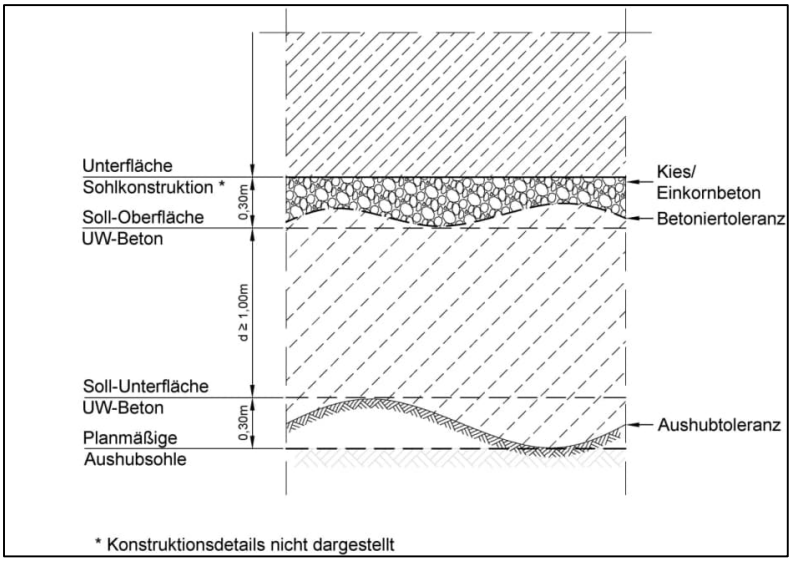


Abbildung 4: Darstellung der Ausführungssituation für eine Unterwasserbetonsohle, gemäß ZTV-ING

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 5 ist eine Plattenverankerung beispielhaft dargestellt gemäß Zulassung Z-1.5-1; DYWIDAG-Systems-Muffenverbindungen und -Verankerungen von Stabstahl mit Gewinderippen S 555/700.

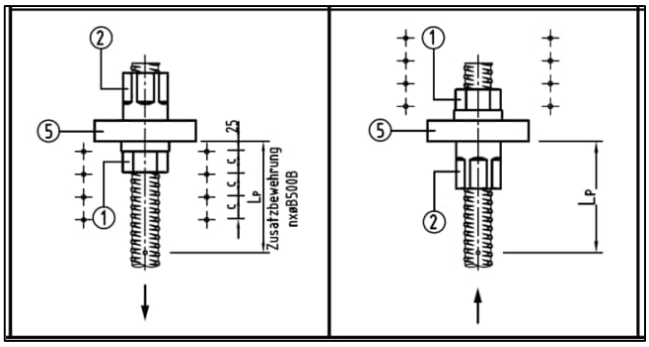


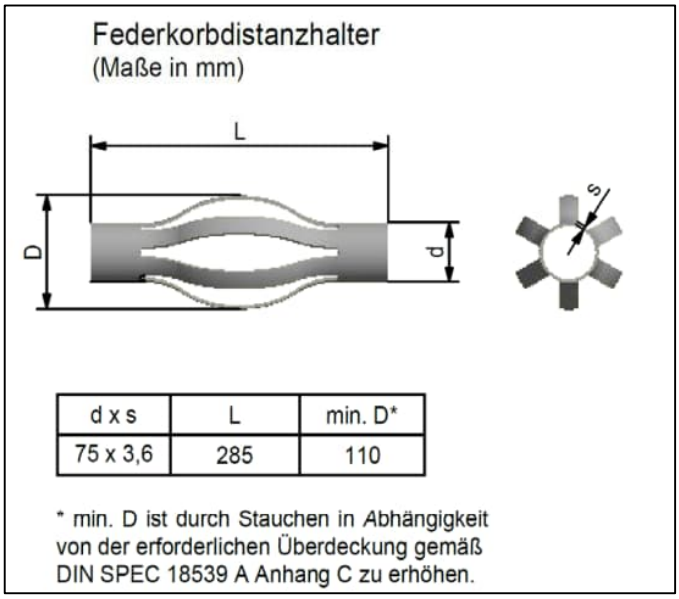
Abbildung 5: Plattenverankerung der Mikropfähle bei Zug-/ Druckbeanspruchung

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 6:



d x s	L	min. D*
75 x 3,6	285	110

* min. D ist durch Stauchen in Abhängigkeit von der erforderlichen Überdeckung gemäß DIN SPEC 18539 A Anhang C zu erhöhen.

Abbildung 6: Federkorbdistanzhalter und -Maße [Zulassung Z-32.1-9]

Mindestdurchmesser:	D_{min} = 110 mm

1.5.3 Rohr

Innendurchmesser	D_i = 1000 mm
Mindestwanddicke nach DWA-A 161 Tab. 19	t_{min} = 93 mm
Falztiefe im Bereich der Rohrverbindung	δ_t = 50 mm

1.5.4 Druckübertragungsringe

Kleinster Außendurchmesser	$D_{a,min,DÜR}$ = 1100 mm
Größter Innendurchmesser	$D_{i,max,DÜR}$ = 1140 mm

1.6 Baugrundverhältnisse

1.6.1 Bodenarten und Schichtenfolge

Die Erkundungen aus dem Bodengutachten für die Durchpressung vom 30.01.2024 werden in Abbildung 7 dargestellt:

Lageplan mit Erkundungspunkten
M. 1:500
[Quelle: DB Netz AG, 50679 Köln, Stand 05/2020]

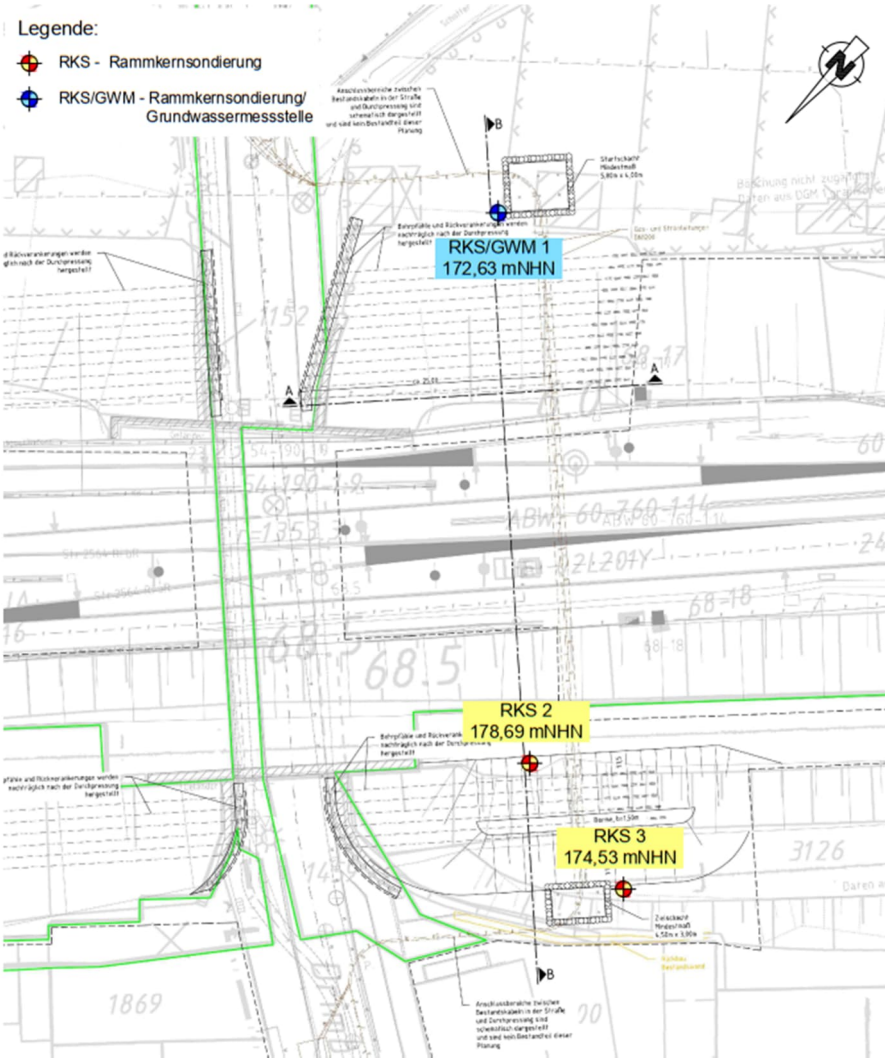


Abbildung 7: Lageplan mit Erkundungspunkten für Rohrvortrieb

In Abbildung 8 werden die Ergebnisse der Rammkernsondierungen RKS1, RKS2 und RKS3 dargestellt, die für die Modellierung des Baugrunds verwendet werden.

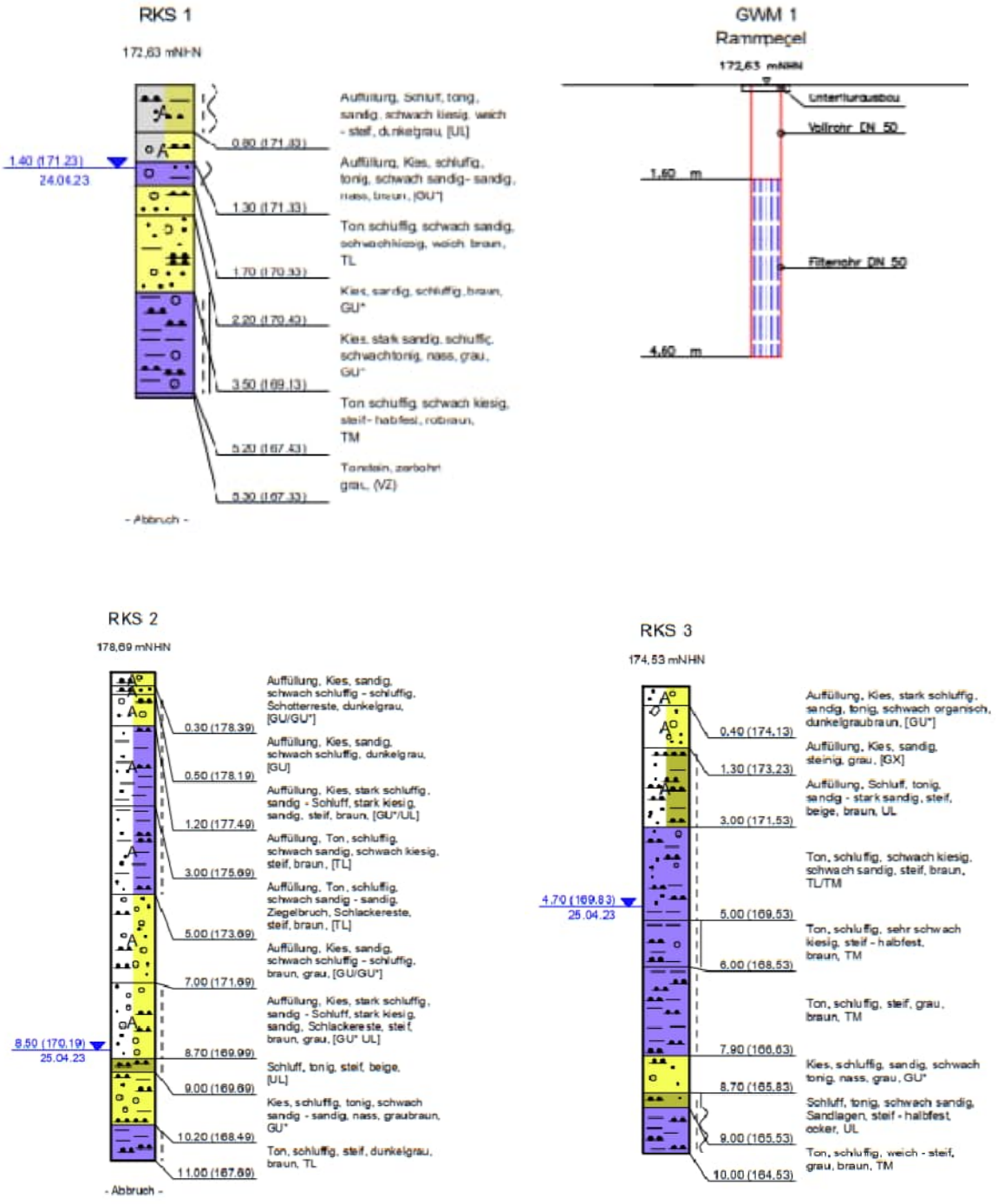


Abbildung 8: Profile der Rammkernsondierungen RKS1, RKS2 und RKS3

1.6.2 Baugrundaufbau

In Tabelle 10 sind die charakteristischen Zahlenwerte ausgewählter geotechnischer Kenngrößen des Bodengutachtens der Durchpressung dargestellt:

Schicht-komplex	Bodenart / Gesteinsart	Bodengruppen. DIN 18196 / Gesteinscode	Konsistenz/ Lagerungs-dichte/ Verw.grad.	γ_k/γ' [kN/m³]	φ'_k [°]	c'_k [kN/m²]	$c_{u,k}$ [kN/m²	$E_{s,k}$ [MN/m²]
(1) Auffüllungen	Kies, sand-, teilw. schluff- und steinhaltig	[GU], [GU/GU*], [GX]	locker bis mitteldicht	19/9	32,5	0	-	20-40
	Kies-Schluff-Mischböden	[GU*/UL]	steif	20/10	27,5	2-4	20-50	15
	Schluff, ton- und sandhaltig	[UL]	steif	20/10	27,5	4-6	50-100	8
	Ton, schluff-, schwach. sand- und kieshaltig	[TL]	steif	20/10	27,5	6-8	50-100	8
(2) Tone und Schluffe	Ton, schluff- schw. sand- und teilw. kieshaltig	TL, TL/TM, TM	weich	19/9	25,0	2-3	20-50	5
			steif (-halbfest)	20/10		6-8	50-120	8 (-10)
(3) Kiese	Kies, sand- und schluffhaltig	GU*	locker-mitteldicht	19/9	30,0	0-2	-	20-30
(4) Verwitterter Tonstein (Sandstein) [1)]	Tonstein mit Sandsteinzwischenlagen	VZ	zersetzt	21/12	25,0	10-20	-	10-20
		VE	entfestigt	22/13	25,0	20-40	-	20-50
		VA	angewittert	24/14	35,0	40-60	-	50-150

γ_k (γ') Wichte (unter Auftrieb) c'_k Kohäsion $c_{u,k}$ undrainierte Scherfestigkeit
φ'_k Reibungswinkel $E_{s,k}$ Steifeziffer
1) Angaben übernommen aus [U4].

Tabelle 10: Charakteristische Zahlenwerte ausgewählter geotechnischer Kenngrößen (IBES Baugrundgutachten 2024)

1.6.3 Grundwasser

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

MHGW-Nord = 170,3 mNN (BS-T)
HGW-Nord = 170,8 mNN (BS-P)
MHGW-Süd = 171,5 mNN (BS-T)
HGW-Süd = 172,0 mNN (BS-P)

1.6.4 Gründung

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

Bohrpfahlwände

Für Bohrpfähle nach EC 7, DIN-EN 1997 bzw. DIN 1054 und EA Pfähle können die in Tabelle 11 und Tabelle 12 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	L.-dichte / Konsistenz / Vewitterungsgrad	SUK [mNHN]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k}$ [MN/m²]		
				$s/D_s = 0,02$ [1]	$s/D_s = 0,03$ [1]	$s/D_s = 0,10$ [1]
(1) + (2)	i. M. weich-steif / locker-mitteldicht	171,0	0,01 [2]	nicht relevant		
(3)	i. M. locker-mitteldicht	169,0	0,03			
(2)	i. M. steif	167,4	0,03			
(4)	zersetzt bis stark entfestigt	160,4	0,08	1,2		
	entfestigt bis mäßig entfestigt	158,0 [4]	0,15	2,0 [3]		

[1] Bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_s bei $q_{b,k}$
[2] Anforderungen an Baugrundfestigkeit und / oder Schichtmächtigkeit nicht erfüllt.
[3] Bei Ansatz eines Spitzendruckes im Festgestein darf in den darüber liegenden Schichten keine Mantelreibung angesetzt werden.
[4] SUK = Aufschlussendtiefe BK 1a aus [U4].

Tabelle 11: Charakteristische Werte für Mantelreibung $q_{s,k}$ und Spitzenwiderstand $q_{b,k}$ bei Bohrpfählen (Startbaugrube, 2024)

Schicht-komplex	L.-dichte / Konsistenz / Vewitterungsgrad	SUK [mNHN]	$q_{s,k}$ [MN/m²]	$q_{b,k}$ [MN/m²]		
				$s/D_s = 0,02$ [1]	$s/D_s = 0,03$ [1]	$s/D_s = 0,10$ [1]
(2)	i. M. steif	166,6	0,03	nicht relevant		
(3)	i. M. locker-mitteldicht	165,8	0,03			
(2)	i. M. weich-steif	*163,5* [5]	0,02			
(4)	zersetzt bis stark entfestigt	160,0	0,08	1,2		
	entfestigt bis mäßig entfestigt	151,0 [4]	0,15	2,0 [3]		

[1] Bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_s bei $q_{b,k}$
[2] Anforderungen an Baugrundfestigkeit und / oder Schichtmächtigkeit nicht erfüllt.
[3] Bei Ansatz eines Spitzendruckes im Festgestein darf in den darüber liegenden Schichten keine Mantelreibung angesetzt werden.
[4] SUK = Aufschlussendtiefe BK 2 aus [U4].
[5] SUK nicht aufgeschlossen / Übergangstiefe von bindigem Boden in Felszersatz unterliegt Annahme.

Tabelle 12: Charakteristische Werte für Mantelreibung $q_{s,k}$ und Spitzenwiderstand $q_{b,k}$ bei Bohrpfählen (Zielbaugrube, 2024)

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 (4.1) 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 13 aufgeführten Grenzmantelreibungswerte $q_{s,k}$ zugrunde gelegt werden.

Schicht-komplex	Lagerungsd. / Kons. Verwitterungsgrad	SUK [mNN]	$q_{s,k}$ [MN/m²]
(4)	zersetzt bis stark entfestigt	160,4	0,15 [2]
	entfestigt bis mäßig entfestigt	158,0 [3]	0,25 [2]

[1] Anforderungen an Baugrundfestigkeit und / oder Schichtmächtigkeit nicht erfüllt
[2] In den EA Pfähle sind keine gesonderten Bemessungswerte für die Lage des Verpresskörpers im Festgestein ausgewiesen. Es wird daher ein Mantelreibungswert in Anlehnung an „Verpressanker nach ÖSTERMEYER" angenommen.
[3] SUK = Aufschlussendtiefe BK 1a aus [U4].

Schicht-komplex	Lagerungsd. / Kons. Verwitterungsgrad	SUK [mNN]	$q_{s,k}$ [MN/m²]
(4)	i. M. weich-steif	*163,5* [4]	0,015
	zersetzt bis stark entfestigt	160,0	0,15 [2]
	entfestigt bis mäßig entfestigt	151,0 [3]	0,25 [2]

[1] Anforderungen an Baugrundfestigkeit und / oder Schichtmächtigkeit nicht erfüllt
[2] In den EA Pfähle sind keine gesonderten Bemessungswerte für die Lage des Verpresskörpers im Festgestein ausgewiesen. Es wird daher ein Mantelreibungswert in Anlehnung an „Verpressanker nach ÖSTERMEYER" angenommen.
[3] SUK = Aufschlussendtiefe BK 2 aus [U4].
[4] SUK nicht aufgeschlossen / Übergangstiefe von bindigem Boden in Felszersatz unterliegt Annahme.

Tabelle 13: Grenzmantelreibungswerte $q_{s,k}$ für verpresste Mikropfähle nach EA-Pfähle für die Startbaugrube links und die Zielbaugrube rechts

1.6.5 Einteilung in Bodengruppen

Für die Bemessung der Vortriebsrohre für die Durchpressung wird eine Einteilung in Bodengruppen nach GW312/A161-Tab.1 vorgenommen:

Bodengruppen nach Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127[8)]	Bodenarten (Kurzzeichen der Bodengruppen nach DIN 18196[9)])
Gruppe 1 (G1)	Nichtbindige Böden (GE, GW, GI, SE, SW, SI)
Gruppe 2 (G2)	Schwachbindige Böden (GU, GT, SU, ST)
Gruppe 3 (G3)	Bindige Mischböden, Schluff, schluffiger Sand und Kies, bindiger steiniger Verwitterungsboden ($G\overline{U}$, $G\overline{T}$, $S\overline{U}$, $S\overline{T}$, UL, UM)
Gruppe 4 (G4)	Bindige Böden (z. B. Ton) (TL, TM, TA, OU, OT, OH, UA)
ANMERKUNGEN Für Festgestein muss eine Einstufung nach DIN 18319[10)] erfolgen. Die Kurzbezeichnungen sind in Anhang D näher erläutert.	

Abbildung 9: Bodengruppen nach Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127

Bindiger Boden G3, G4	flüssig	breiig	breiig bis weich	weich	weich bis steif	steif	steif bis halbfest	halbfest bis fest
Konsistenz I_c	**< 0,3**	**0,3**	**0,4**	**0,5**	**0,6**	**0,75**	**0,8**	**> 0,8**
Faktor f_1	0,01	0,01	0,1	0,2	0,4	0,8	1	1,2
Erddruck-verhältnis K_1	1[1)]	1[1)]	0,7[1)]	0,5	0,5[2)]	0,6[2)]	0,7[2)]	0,8[2)]
Reibungs-winkel in Scher-fuge δ (°)	0[1)]	0[1)]	0[1)]	$\varphi'/3$	$\varphi'/2$	$2\times\varphi'/3$	φ'	φ'
Kohäsion c (kN/m²)	0	0	0	0	3	5	10	15
ANMERKUNGEN Zwischenwerte können linear interpoliert werden. Sind die Zahlenwerte für die Konsistenz nicht bekannt, sind die jeweils unteren Grenzen des Bereiches anzunehmen. 1) Die Verwendung dieser Werte führt in den Gleichungen (8) und (9) zu $\kappa = 1$. 2) Diese Werte sind theoretisch nicht begründet und stellen einen Ersatz dar, um den Einfluss der Kohäsion zu berücksichtigen, die in Gleichungen (8) und (9) nicht verwendet wird.								

Abbildung 10: Berechnungswerte für bindige Böden G3, G4 nach DWA-A 161 Tab. 4

In diesem Fall handelt es sich um „bindige Mischböden und Schluffe“ der Bodengruppe 3.

2 Darstellung und Beschreibung des statischen Systems

2.1 Start- / Zielbaugrube

2.1.1 Baugrubenwände

Zur Herstellung der Durchpressung werden verbaute Gruben benötigt, aus denen der Vortrieb der Rohre erfolgen kann. Die Startbaugrube für die Durchpressung wird auf der Südseite angeordnet. Für die Durchpressung von Rohrsegmenten mit einem lichten Durchmesser von 1000 mm und 3,0 m-Baulängen wird eine Startbaugrube mit einer lichten Länge von 5,8 m und einer lichten Breite von 4 m vorgesehen. Die Zielbaugrube wird mit einer Länge von 4,5 m und einer Breite von 3 m dimensioniert.

In dieser Statik sollen die Start- und Zielbaugruben für die Durchpressung berechnet werden. Da die Startbaugrube die größeren Abmessungen hat, wird auf der sicheren Seite diese bemessen. Die Dimensionen des Verbaus gelten dann ebenso für die Zielbaugrube. Diese Baugruben dienen werden wasserdicht ausgeführt, da sie im Grundwasser liegen. Vertikal wird der Wasserzutritt durch eine UWB-Sohle verhindert. Diese ist nicht kraftschlüssig mit dem Verbau verbunden und wird mittels Mikropfählen rückverankert.

Die nördlichen Baugrubenwände der Startbaugrube müssen die Beanspruchung der Ortsbrust beim Rohrvortrieb aufnehmen. Die südlichen Baugrubenwände müssen die Belastung der Hydraulikpressen aufnehmen bzw. an den Baugrund weiterleiten.

Ein Ausbau der Baugruben zu endgültigen Revisionsschächten ist nicht geplant.

Der Verbau besteht aus einer Bohrpfahlwand mit den Pfahl-Durchmessern 0,6 m. Die Bohrpfahlwand wird überschnitten hergestellt. Die bewehrten Pfähle haben einen Achsabstand von 1,2 m. Es befinden sich je zwei unbewehrte Pfähle zwischen den bewehrten Pfählen, siehe Abbildung 11.

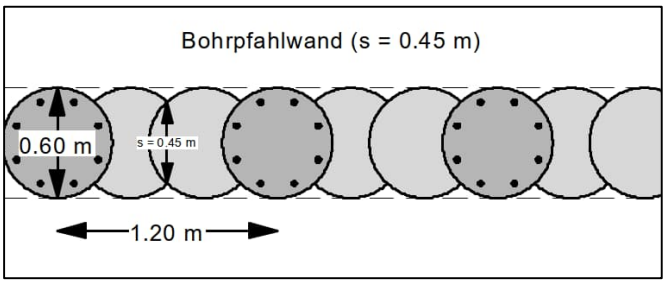


Abbildung 11: Bohrpfahlwand – Schnitt GGU-RETAIN [m]

Für die Bemessung der Verbauwand wird die Bohrpfahlwand mit einer Breite von 5,8 m betrachtet. Es werden zwei Fälle untersucht. Aushub bis UK der UWB-Sohle mit einer freien Standhöhe von 6,0 m und Zustand nach Einbringen der UWB-Sohle und Trockenlegen der Baugrube mit einer freien Standhöhe der Wand von 5,0 m, siehe Abbildung 12.

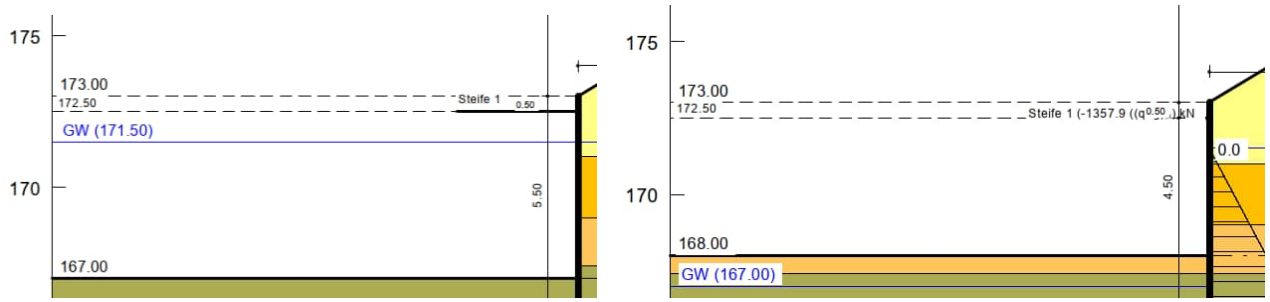


Abbildung 12: Baugrube ohne UWB-Sohle (links) / Trockenlegung der Baugrube mit UWB-Sohle (rechts)

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

2.1.2 Kennwerte für die Bemessung

Der Bemessung werden folgende Kennwerte zugrunde gelegt, siehe Tabelle 14:

Konstruktionsart	Ortbeton
Material bewehrter Pfähle	C 30/37
Länge	5,8 m
Breite	4,0 m
Durchmesser	0,6 m
Achsabstand	1,2 m
Max. Verbauwand-OK	173 mNN
Baugrubensohle	168 mNN
UK-Unterwasserbetonsohle	167 mNN
Höhe der Steifen	172,5 mNN
Max. freie Höhe	6,0 m
Steifenabstand in hor. Richtung	4,0 m

Tabelle 14: Kennwerte der Bohrpfahlwand

Die angenommenen Bodenkennwerte sind Tabelle 15 zu entnehmen:

Schicht	Schicht-UK [mNN]	γ /γ' [kN/m³]	φ'_k [°]	c'_k [kN/m²]	Mantelreibung BPW $q_{s,k}$ [MN/m²]	Spitzenwiderstand BPW $q_{b,k}$ [MN/m²]
Auffüllung (1) [GU*/UL] Tone und Schluffe (2) [TL]	171	20/10	27,5	2	0,01	-
Kiese (3) [GU*]	169,0	19/9	30,0	0	0,03	-
Tone und Schluffe (2) [TM]	167,4	20/10	25,0	6	0,03	-
Verwitterter Tonstein (4.1) [VZ]	160,4	21/12	25,0	10	0,08	1,2
Verwitterter Tonstein (4.2) [VE]	158,0	22/13	25,0	20	0,15	2,0

Tabelle 15: Bodenkennwerte

2.1.3 Aussteifung

Da die Baugrube rechteckig ist, wird in einer Höhe von 172,5 mNN eine umlaufende Steifenkonstruktion eingebaut. Die Abmessungen der Steifen ergeben sich somit aus den lichten Abständen der Baugrube. An den kurzen Seiten sind die zwei Steifen 4,0 m lang und an den langen Seiten sind die Steifen 5,8 m lang.

Die Lage der Steifen der Wand ist Abbildung 13 zu entnehmen.

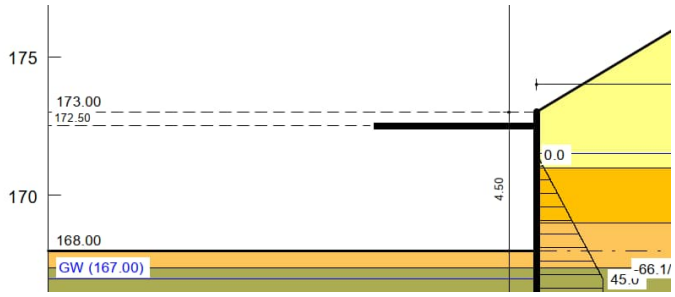


Abbildung 13: Aussteifung

Für die Bemessung wird auf der sicheren Seite die Bohrpfahlwand mit einer Breite von 5,8 m betrachtet. Auf einer Höhe von 172,5 mNN beträgt der Steifenabstand max. 5,8 m und die Steifen sind 4,0 m lang.

Zusätzlich haben die Bohrpfahlwände selbst eine aussteifende Wirkung an den Seiten sowie auch die UWB-Sohle an der Baugrubensohle.

2.1.4 Statisches System

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

2.1.5 Rückverankerte UWB-Sohle

2.1.5.1 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.

2.1.5.2 Kennwerte für die Bemessung der Mikropfähle

Die Kennwerte der Mikropfähle sind in Tabelle 16 zu erkennen:

Konstruktionsart	Gebohrte Verbundpfähle
Material	Zementmörtel gemäß DIN EN 206, Anhang D
Gesamtlänge	5,0 m
Pfahldurchmesser	D = 0,2 m

Tabelle 16: Kennwerte der Mikropfähle

Die Bodenkennwerte zur Bemessung der Tiefgründung sind Tabelle 17 zu entnehmen:

Schicht	Schicht-UK [mNN]	Mantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m²]
(4.1) Tonstein	160,4	0,15
(4.2) Tonstein	158,0	0,25

Tabelle 17: Schichtabhängige Bodenwiderstände für Pfähle

Für die Mikropfähle wird eine Mantelreibung der Tonsteinschicht (4.1) über eine Höhe von 4,6 m von 150 kN/m² angesetzt. Bei Mikropfählen wird kein Spitzendruck berücksichtigt.

2.2 Vortriebsrohre

2.2.1 Allgemein

In dieser Statik sollen die Stahlbeton-Rohrsegmente der Durchpressung berechnet werden. Dabei werden der Rohrvortrieb und der Endzustand separat betrachtet. Die gesamte Durchpressung ist ca. 70 m lang, die Länge der einzelnen Rohstücke beträgt 3,0 m. Der Innendurchmesser der Rohre beträgt 1000 mm und die Wanddicke t beträgt 120 mm. Die Überdeckung der Durchpressung beträgt ca. 13,5 m.

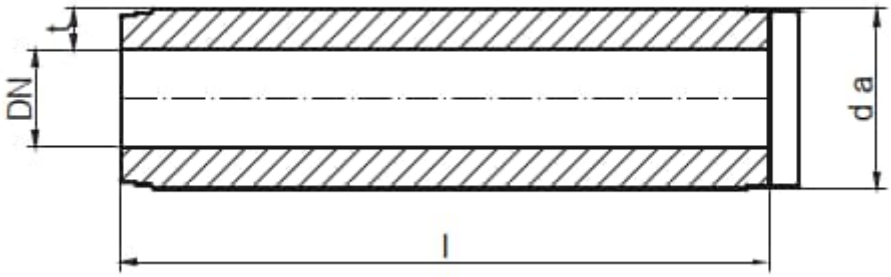


Abbildung 14: Stahlbeton-Vortriebsrohr– Schnitt (HABA-BETON)

Das vorderste Rohrsegment ist der größten Belastung ausgesetzt und wird demnach in dieser Statik bemessen. Die Nachweise erfolgen mittels EDV-Berechnung (Programm: RIB-DURO).

Die Rohrstücke werden geradlinig mittels Hydraulikpressen sukzessive in den Boden vorgetrieben. Die Hauptvortriebspressen befinden sich in der Startbaugrube und stützen sich gegen die rückwärtige Baugrubenwand, die als Widerlager fungiert, ab. Die Kraft der Pressen wird somit weiter in den Baugrund geleitet. Der Rohrvortrieb erfolgt im Lockergestein mit dem Auflagerwinkel 2 α = 180 °.

Die Planung der Innenausstattung der Durchpressung ist kein Bestandteil dieser Statik.

2.2.1 Druckübertragungsringe

Zwischen den Rohrsegmenten befinden sich Druckübertragungsringe (DÜR) aus Vollholz. Diese dienen der Kraftübertragung, gleichen Unebenheiten aus und sollen eine möglichst geringe Rückfederung garantieren. Die Vorbelastung der DÜR beträgt 30 %. Die Breite des Druckübertragungsrings muss auch im belastenden Zustand kleiner sein als die geringste Rohrwanddicke.

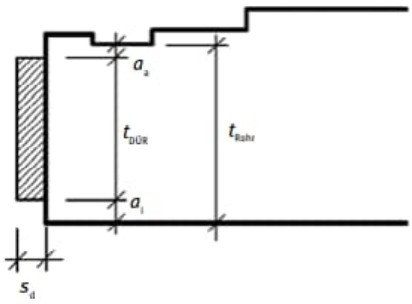


Abbildung 15: Anordnung der Druckübertragungsringe – DWA-A 161 Bild 16

Die Kennwerte der DÜR werden in Tabelle 21 zusammengefasst:

Material	Vollholz
E-Modul	9.243,4 N/mm²
Innendurchmesser DÜR	1100 mm
Außendurchmesser DÜR	1140 mm
Anzahl	1 -
Dicke	25 mm
Fläche	0,19 m²

Tabelle 18: Kennwerte der Druckübertragungsringe

Die Trasse verläuft gerade. Aus Steuerbewegungen und Fertigungsungenauigkeiten entstehen Abwinkelungen, die bei der Bemessung der DÜR betrachtet werden müssen.

2.2.2 Mikrotunnelbau

Der Rohrvortrieb soll gemäß Arbeitsblatt DWA-A 125, Kap. 6.1.3.1.4 mittels Mikrotunnelbau mit Spülförderung und Druckluftpolster (Mixschild) erfolgen. Der abgebaute Boden wird hydraulisch gefördert und vom Fördermedium mittels Separationsanlagen (z. B. Absetzbecken; bei Bedarf mit Sieb, Zyklon o. a.) getrennt. Die Art und Qualität des Fördermediums muss auf die Baugrund- und Grundwasserverhältnisse abgestimmt werden. Ein zusätzliches Druckluftpolster minimiert die Druckschwankungen an der Ortsbrust.

Dieses Verfahren ist unbemannt und steuerbar. Dadurch kann eine große Genauigkeit bei der Ausführung erzielt werden. Zudem begrenzen sich die Setzungen bei fachgerechter Ausführung auf ein Minimum. Die schwierigen Bodenverhältnisse mit hohem Grundwasserstand können gut beherrscht werden. Die nichtbegehbaren Rohre werden ferngesteuert von Startbaugrube bis Zielbaugrube vorgetrieben.

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

Eigengewicht der UWB-Sohle gemäß EAB:

γ_{UWB} = 23 kN/m³

Eigengewicht der Stahlbetonrohre:

γ_{Stb} = 25 kN/m³

3.1.2 Ständiger Erddruck

Für die gestützten Baugrubenwände mit kraftschlüssig verkeilten Steifen wird ein umgelagerter aktiver Erddruck gewählt.

Vortriebsrohr

Bei der Ermittlung der Erddrücke wird die vertikale Einwirkung abgemindert, da beim Vortrieb eine Gewölbebildung entsteht. Beim Rohrvortrieb wird die Größe der Erdlast dadurch bestimmt, inwieweit der primäre Zustand durch den Vortrieb verändert wird. Im Normalfall wird die Erdlast durch verfahrensbedingte Auflockerungen in der Umgebung des Rohres reduziert. In Sonderfällen bleibt der primäre Spannungszustand weitgehend erhalten, wobei die Größe und Verteilung der Erdlast eines Rohres auch von dessen Verformbarkeit bestimmt werden. Im umgebenden Erdreich können sich infolge von Verdichtungen und Verdrängungen des Bodens auch passive Spannungs- und Bruchzustände aus passivem Erddruck entwickeln.

Der auf das Vortriebsrohr wirkende Seitendruck setzt sich zusammen aus dem Anteil q_h infolge der vertikalen Erdlast und dem bei einer Rohrverformung entstehenden Bettungsreaktionsdruck q_h*.

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:		γ_w = 10 kN/m³
Berechnung des Wasserdrucks:		w = $\gamma_w \cdot h$
UK-UWB-Sohle:		167 mNN
Breite x Länge der Sohle:		B x L = 4,0 m x 5,8 m
Wasserstand BS-T-Süd:		171,5 mNN
Wasserdruck unter Sohle:	h_1 = 4,5 m	w = 4,5 · 10 = 45 kN/m²
Wasserdruck unter Sohle:	h_1 = 4,5 m	W = 45 · 4 · 5,8 = 1044 kN

3.1.1 Fahrbahn

Lastansatz nach Ril 804.2101, Tab.2 — v = 160 km/h

Für v ≤ 160 km/h — G_k = 55,0 kN/m

Lastverteilungsbreite aus Tab.2 — b = 4,4 m

Fahrbahnlast an Schotter-UK — g_k = 12,5 kN/m²

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 (173 mNN): p_k = 10 kN/m²

3.2.2 Eisenbahnverkehr

Die Start-/ und Zielbaugrube liegt nicht im Einflussbereich von Eisenbahnlasten.

Die Belastung aus Eisenbahnverkehr auf die Stahlbetonrohre wird der Lastansatz gemäß Ril 836.2001 6(4) Bild 1 eine Lastausbreitung im Boden mit einem Winkel von 2:1 betrachtet.

Bild 1 Ausbreitung der vertikalen Lasten (charakteristische Werte) Definitionen Druckbereich und Stützbereich

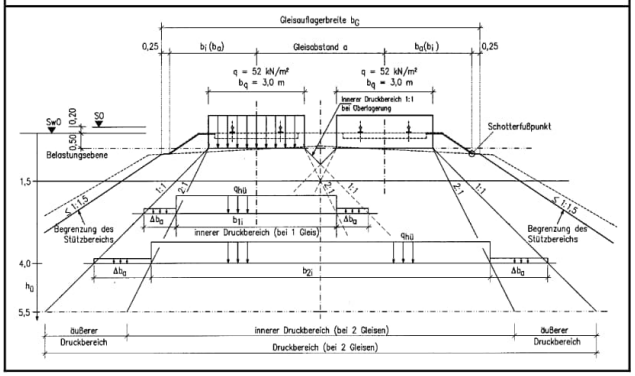


Abbildung 16: Lastausbreitung gemäß Ril 836.2001

Zusätzlich dazu wird die daraus folgende tabellarische Einteilung der Spannungen über die Höhe nach DWA-A 161 betrachtet:

Überdeckungshöhe (ab Schwellenoberkante) (m)	Spannung infolge Belastung nach LM 71 (kN/m²)	
	eingleisig	mehrgleisig
1,10	65,5	65,5
1,499	55,4	55,4
1,5	48	49
2,50	39	41
4,0	26	33
5,5	19	26
≥ 10,00	10	15

ANMERKUNG
Zwischen den angegebenen Werten darf linear interpoliert werden. Eine Extrapolation der Tabellenwerte für Überdeckungshöhen unter 1,1 m ist nicht zulässig.

Abbildung 17: Bodenspannungen p infolge Eisenbahnverkehrslasten nach DWA-A 161

Verkehrsbelastung: $p = 15$ kN/m²

Stoßbeiwert: $\phi = 1{,}0$ –

Erddruckverhältnis Bauzustand: $K_2 = 0{,}4$ -

Horizontaler Erddruck aus Verkehr Bauzustand: $p_{Th} = K_2 \cdot p_v = 6$ kN/m²

Für den Betriebszustand kann der Erddruckbeiwert K_2 um 0,1 erhöht werden.

Erddruckverhältnis Betriebszustand: $K_2 = 0{,}5$ -

Horizontaler Erddruck aus Verkehr Endzustand: $p_{Th} = K_2 \cdot p_v = 7{,}5$ kN/m²

3.2.3 Pressenkraft

Für die Bemessung der Vortriebsrohre und DÜR wird eine Pressenkraft geschätzt. Die Vorpresswiderstände setzen sich u.a. aus dem Brustwiderstand, der Mantelreibung der Vortriebsrohre zusammen.

Geschätzte Vortriebskraft: $F_j = 1.500$ kN

Die zulässige Vortriebskraft wird iterativ unter Berücksichtigung der DÜR in Bezug auf Vorbelastung, Verformung und Fugenklaffmaß bestimmt.

Im Bereich der Pressenabstützung gegen die Baugrubenwand stellt sich ein passiver Erddruck ein.

Die Grenzlast der Vortriebskraft auf die Widerlagerwand wird nach SIA-195 abgeschätzt:

Höhe der Widerlagerwand: $h = 6$ m

Breite des Widerlagers: $b_{wid} = 1{,}5$ m

Bezogene Höhe: $h' = h - b_{wid}/2 = 6\text{ m} - 1{,}5\text{ m}/2 = 5{,}25$ m

Grenzlast: $V_{grenz} = b_{wid} \cdot h' ((1+ \sin \varphi) / (1-\sin \varphi) \cdot h' + 2 \cdot c (\cos \varphi) / (1-\sin \varphi)) = 1.935$ kN

Der geringe Anteil aus Kohäsion wird auf der sicheren Seite vernachlässigt.

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 19:Teilsicherheitsbeiwerte ständige und vorübergehende Kombination

Gemäß DWA-A 161 werden bei der Bemessung von Vortriebsrohren folgende Teilsicherheitsbeiwerte angesetzt. Bei günstig wirkenden Einwirkungen müssen die Teilsicherheitsbeiwerte gemäß Tab. A.2.1 der DIN 1054 verwendet werden.

Bemessung von Vortriebsrohren	γ	BS-P	BS-T	BS-A
Ständige Einwirkung	γ_G	1,35	1,35	1,35
Veränderliche Einwirkung	γ_Q	1,35	1,35	1,35
Einwirkungen Ermüdung	$\gamma_{F,fat}$	1,0	1,0	1,0
Modellunsicherheiten bei Ermüdung	$\gamma_{Ed,fat}$	1,0	1,0	1,0
Betonstahl bei Ermüdung	$\gamma_{s,fat}$	1,15	1,15	1,15
Einwirkung längs der Achse (Vorpresskraft)	$\gamma_{f,axl}$	-	1,15	1,05

Tabelle 20:Teilsicherheitsbeiwerte Vortriebsrohre

Die Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen der Tabelle 21 und Tabelle 22 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 21: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 22: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 23:Teilsicherheitsbeiwerte ständige und vorübergehende Kombination

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände der Tabelle 24 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 24:Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände von Bauteilen und Boden

4.2 Nachweis für Bohrpfahlwände

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

Nachfolgender Tabelle 25 sind die Ausnutzungsgrade der geführten Nachweise für die BS-T zu entnehmen:

Nachweise	ohne UWB-Sohle	mit UWB-Sohle
Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit	0,89	0,77
Nachweis Aufbruchsicherheit nach EB 99	0,17	0,17

Tabelle 25: Ausnutzungsgrade μ für verschiedene Nachweise

4.2.1 Benötigte Bewehrung

<u>Längsbewehrung</u>

Ohne UWB-Sohle: A_s = 69,2 cm²

Mit UWB-Sohle: A_s = 98,2 cm²

<u>Schubbewehrung</u>

Ohne UWB-Sohle: $a_{s,b}$ = 16,0 cm²/m

Mit UWB-Sohle: $a_{s,b}$ = 19,9 cm²/m

4.2.2 Stabilitätsnachweis der 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} = 1.832 kN

Profil: HEA 300

Länge: L = 4,0 m

Stabilitätsnachweis zentrische Normalkraft (Gl. 6.46)

Nachweis erfüllt: $N_{Ed} / (\chi_T \cdot N_{Rd}) = 0{,}82 \leq 1{,}0$

Nachweis erfüllt: $N_{Ed} / (\chi_z \cdot N_{Rd}) = 0{,}86 \leq 1{,}0$

Bei einem Steifenabstand von 4,0 m mit einer Länge der Steife von 5,8 m können ebenfalls Profile mit HEA 280 verwendet werden:

Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft: N_{Ed} = 1.832 kN · 4 m / 5,8 m = 1.263 kN

Profil: HEA 300

Länge: L = 5,8 m

Stabilitätsnachweis zentrische Normalkraft (Gl. 6.46)

Nachweis erfüllt: $N_{Ed} / (\chi_T \cdot N_{Rd}) = 0{,}62 \leq 1{,}0$

Nachweis erfüllt: $N_{Ed} / (\chi_z \cdot N_{Rd}) = 0{,}74 \leq 1{,}0$

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 (4.1): $q_{s,k}$ = 150 kN/m²

Einbindung in Schicht (4.1): h = 4,6 m

Durchmesser: d = 0,2 m

Widerstand des Pfahls: $R_k = q_{s,k} \cdot A = 150 \cdot 0{,}2 \cdot \pi \cdot 4{,}6 = 434$ 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:

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

Einwirkung

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

Wasserstand Auftrieb:		$w_{sp,BS-T}$ = 171,5 mNN
UK-UWB-Sohle inkl. Aushubtoleranz:		167 mNN
Wasserdruck unter Sohle:	h_1 = 4,5 m	w = 4,5 · 10 = 45 kN/m²
Breite x Länge der Sohle:		B x L = 4,0 m x 5,8 m
Auftriebskraft:		$F_{t,G,k}$ = 1.044 kN
Teilsicherheitsbeiwert für ständige Beanspruchungen:		γ_G = 1,35 –

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

Wichte UW-Beton:	γ_{Beton} = 23 kN/m³
Höhe x Breite x Länge der Sohle :	H x B x L = 1,0 m x 4,0 m x 5,8 m
Eigengewicht der Sohle:	$F_{c,G,k}$ = 23 · 1,0 · 4 · 5,8 = 534 kN
Teilsicherheitsbeiwert für stabilisierende Einwirkungen:	$\gamma_{G,inf}$ = 1,0 –

Bemessungswert der Zugbeanspruchung: $F_{t,d}$ = 1.044 · 1,35 – 534 · 1,0 = 876 kN

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:	ξ_1 = 1,25 –
Teilsicherheitsbeiwert für Mantelwiderstand (Zug):	γ_s = 1,15-

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

Querrichtung

Anzahl der Pfähle:	n_Q = 2 –
Achsabstand der Pfähle:	l_Q = 2 m

Längsrichtung

Anzahl der Pfähle:	n_L = 3 –
Achsabstand der Pfähle:	l_L = 2 m
Modellfaktor:	η_M = 1,25 -
Widerstand bei Zugbelastung je Pfahl:	$R_{t,d} = R_{t,k} / \gamma_{s,t} / \xi_1 / \eta_M \cdot n_Q \cdot n_L$
	$R_{t,d}$ = 434 / 1,15 / 1,25 / 1,25 · 2 · 3 = 1.448 kN

Nachweis

Nachweis erfüllt: $F_{t,d}$ = 876 kN ≤ $R_{t,d}$ = 1.448 kN

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:

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

Einwirkung

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

Auftriebskraft (Kapitel 3.1.3): $G_{dst,k} = 1.044$ kN

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

Widerstand

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

Eigengewicht der Sohle: $G_{stb,k} = 534$ kN

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: $L = 5$ m

Größeres Rastermaß der Pfahlgruppe: $l_a = 2$ m

Kleineres Rastermaß der Pfahlgruppe: $l_b = 2$ m

Anzahl der Zugpfähle: $n_z = 6$

Wichte des Bodens: $\gamma' = 12$ kN/m³

Anpassungsfaktor: $\eta_z = 0{,}8$ –

Gewicht des Bodenblocks:

$$G_{E,k} = 6 \cdot [2 \cdot 2 \cdot (5 - 1/3 \cdot \sqrt{(2^2 + 2^2)} \cdot \cot(25°)] \cdot 0{,}8 \cdot 12 = 686 \text{ kN}$$

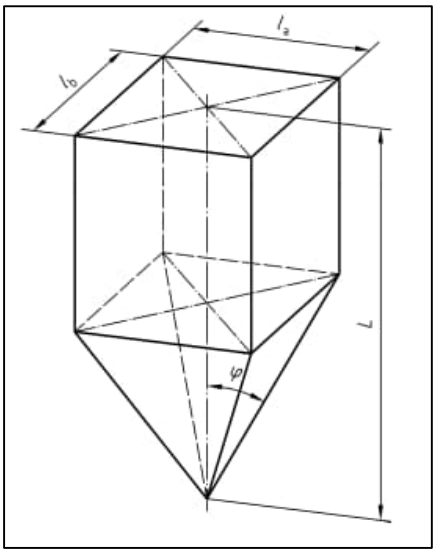


Abbildung 18: Geometrie des an einem Einzelpfahl angehängten Bodens einer Pfahlgruppe – DIN 1054

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

Nachweis

Nachweis erfüllt: $1.044 \cdot 1{,}05 = 1.096$ kN/m ≤ $(534 + 686) \cdot 0{,}95 = 1.159$ 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.

Der zersetzte und stark entfestigte Tonstein (4.1) weist keine undränierte Scherfestigkeit auf, daher kann der Knicknachweis für die Mikropfähle entfallen.

4.4 Nachweis der Vortriebsrohre und Drucküberträgungsringe

Voraussetzung für die Verwendung der nachfolgend berechneten und bemessenen Vortriebsrohre ist:

- Eine ständige Bentonitschmierung - während der Vortriebsarbeiten

- sowie eine Verpressung des Ringraumes zwischen Vortriebsrohr und Boden - nach Abschluss des Vortriebes

4.4.1 Bauteilnachweise

Mindestschnittgrößen gemäß DWA-A 161 7.3

	Kämpfer	Scheitel	Sohle
Moment [kNm/m]	-14,11	-14,11	-14,11
Normalkraft [kN/m]	-151,2	-75,6	-75,6

Mindestbewehrung

Ringbewehrung $A_{s,r}$ = Ø 16 mm á 12 mm/m (18,1 cm²/m)

Längsbewehrung $A_{s,l}$ = Ø 30 mm á 7 mm/Umfang

4.4.2 Spannungsnachweise

Die Schnittgrößen werden gemäß DWA-A 161 Tab. 13 berechnet.

	Eigengewicht	Wasserfüllung	Verkehrslast Flächenlast		Erdüberdeckung				Auftrieb	Bettungsreaktionsdruck
	cos²-förmig				während Vortrieb		nach Vortrieb			
			vert.	horiz.	vert.	horiz.	vert.	horiz.		horiz.
Momentenbeiwerte	m_g (7.2.7)	m_w (7.2.8)	m_{pT} (7.2.3)	m_{pTh} (7.2.4)	m_{q0} (7.2.1)	m_{qh} (7.2.5)	m_{plv} (7.2.2)	m_{plh} (7.2.6)	m_A (7.2.9)	m_{qh^+} (7.2.11)
Scheitel	+0,384	+0,192	+0,250	–0,250	+0,167	–0,167	+0,250	–0,250	–0,192	–0,181
Kämpfer	–0,437	–0,219	–0,250	+0,250	–0,167	+0,167	–0,250	+0,250	+0,219	+0,208
Sohle	+0,706	+0,353	+0,250	–0,250	+0,167	–0,167	+0,250	–0,250	–0,353	–0,181
Normalkraftbeiwerte	n_g	n_w	n_{pT}	n_{pTh}	n_{q0}	n_{qh}	n_{plv}	n_{plh}	n_A	n_{qh^+}
Scheitel	+0,250	+0,625	0	–1,000	–0,333	–0,667	0	–1,000	–0,625	–0,577
Kämpfer	–1,571	+0,215	–1,000	0	–0,667	–0,333	–1,000	0	–0,215	0
Sohle	–1,428	+0,786	0,000	–1,000	–0,333	–0,667	0	–1,000	–0,786	–0,577

Tabelle 26: Momenten- und Normalkraftbeiwerte für Auflagerwinkel 2 α = 180°

Die Vergleichsspannung wird nach DWA-A 9.4.3.2 ermittelt.

$\sigma_{V,Ed}$ [N/mm²]	Kämpfer	Scheitel	Sohle
Bauzustand	2,2	2,0	2,1
Betriebszustand	2,1	2,1	2,1

Zulässige Vergleichsspannung: σ_V = 6,0 N/mm²

Die Spannungsnachweise sind erfüllt.

4.4.3 Vortriebskraft

Geschätzte Vortriebskraft F_j = 1500 kN

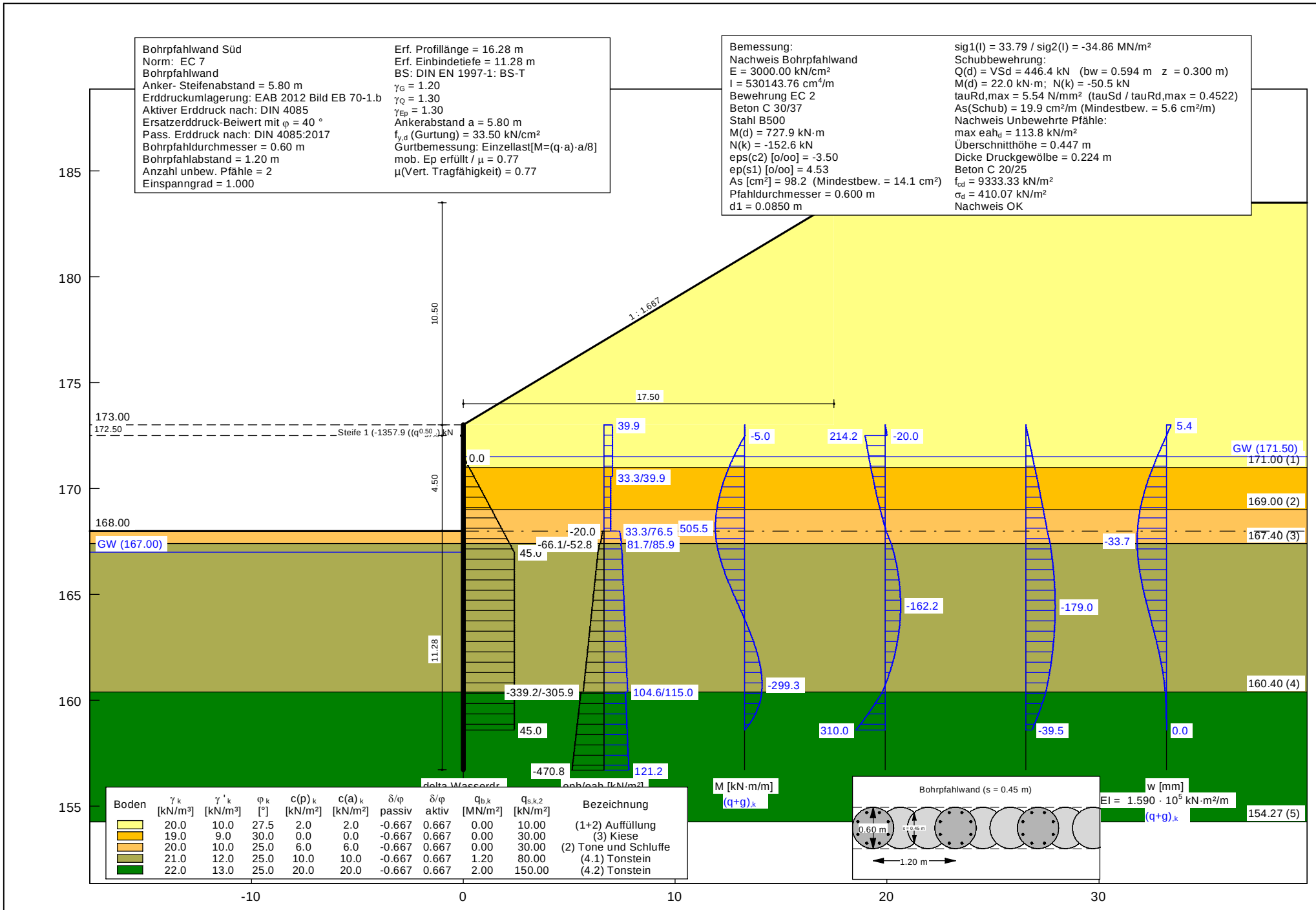
Zulässige Vortriebskraft $F_{j,zul}$ = 1619,3 kN

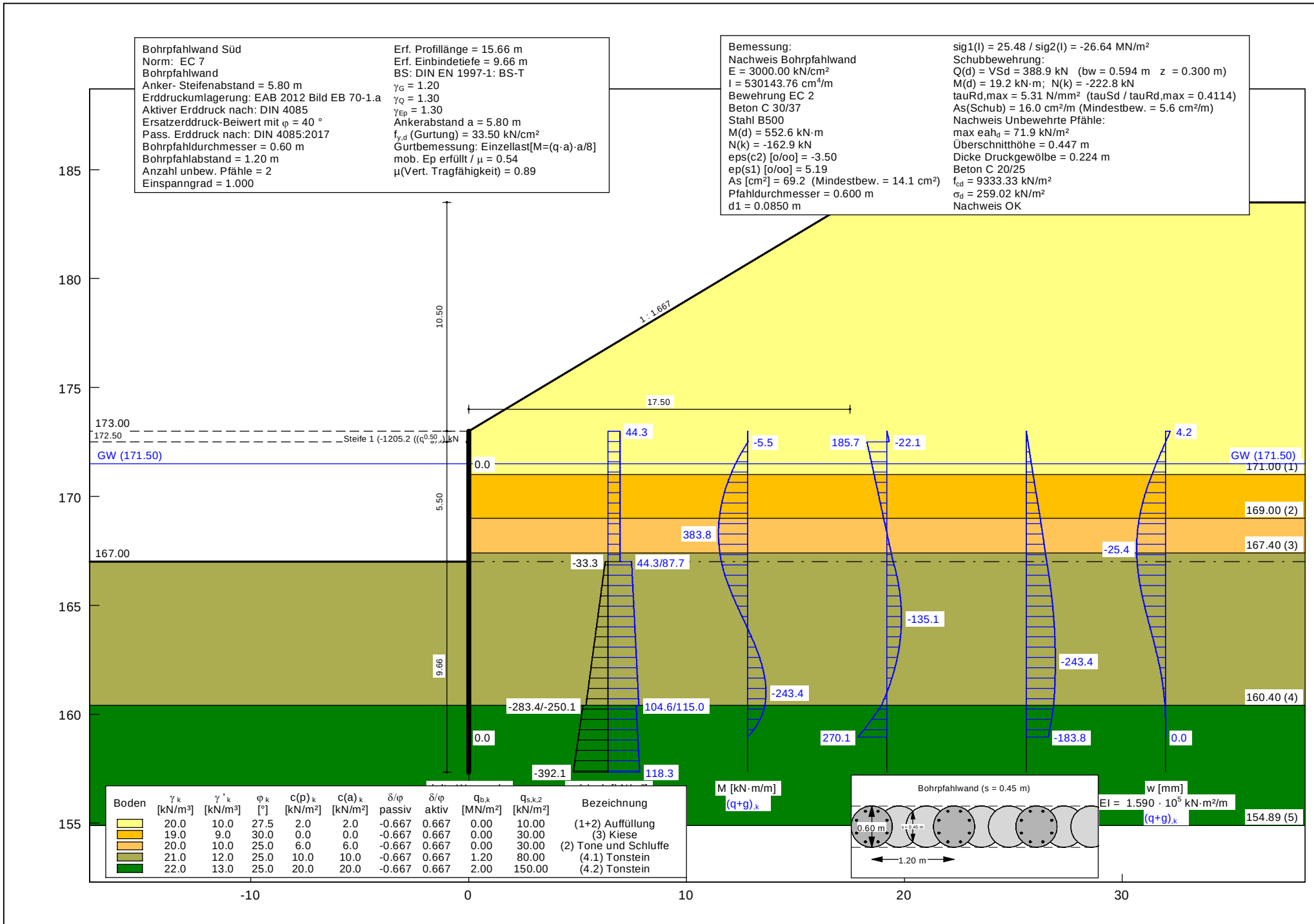
5 EDV-Ausdrucke

Anlage 1-2: GGU-RETAIN-Druckliste

Anlage 3-4: Stabilitätsnachweise STX+ 02/21 (FRILO R-2021-2/P06)

Anlage 5: RIB-DURO-Druckliste


Bohrpfahlwand Süd
Norm: EC 7
Bohrpfahlwand
Anker- Steifenabstand = 5.80 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 = 1.20 m
Anzahl unbew. Pfähle = 2
Einspanngrad = 1.000
Erf. Profillänge = 16.28 m
Erf. Einbindetiefe = 11.28 m
BS: DIN EN 1997-1: BS-T
γG = 1.20
γQ = 1.30
γEp = 1.30
Ankerabstand a = 5.80 m
fy,d (Gurtung) = 33.50 kN/cm²
Gurtbemessung: Einzellast[M=(q·a)·a/8]
mob. Ep erfüllt / μ = 0.77
μ(Vert. Tragfähigkeit) = 0.77
Bemessung:
Nachweis Bohrpfahlwand
E = 3000.00 kN/cm²
I = 530143.76 cm⁴/m
Bewehrung EC 2
Beton C 30/37
Stahl B500
M(d) = 727.9 kN·m
N(k) = -152.6 kN
eps(c2) [o/oo] = -3.50
ep(s1) [o/oo] = 4.53
As [cm²] = 98.2 (Mindestbew. = 14.1 cm²)
Pfahldurchmesser = 0.600 m
d1 = 0.0850 m
sig1(I) = 33.79 / sig2(I) = -34.86 MN/m²
Schubbewehrung:
Q(d) = VSd = 446.4 kN (bw = 0.594 m z = 0.300 m)
M(d) = 22.0 kN·m; N(k) = -50.5 kN
tauRd,max = 5.54 N/mm² (tauSd / tauRd,max = 0.4522)
As(Schub) = 19.9 cm²/m (Mindestbew. = 5.6 cm²/m)
Nachweis Unbewehrte Pfähle:
max eahd = 113.8 kN/m²
Überschnitthöhe = 0.447 m
Dicke Druckgewölbe = 0.224 m
Beton C 20/25
fcd = 9333.33 kN/m²
σd = 410.07 kN/m²
Nachweis OK
185
180
175
170
165
160
155
-10
0
10
20
30
10.50
4.50
11.28
1 : 1.667
17.50
173.00
172.50
Steife 1 (-1357.9 ((q0.50 ..)) kN
168.00
GW (167.00)
GW (171.50)
171.00 (1)
169.00 (2)
167.40 (3)
160.40 (4)
154.27 (5)
0.0
39.9
33.3/39.9
-5.0
214.2
-20.0
5.4
-20.0
33.3/76.5
505.5
-66.1/-52.8
81.7/85.9
-33.7
45.0
-162.2
-179.0
-339.2/-305.9
104.6/115.0
-299.3
310.0
-39.5
0.0
45.0
-470.8
121.2
delta Wasserdr
eph/eah [kN/m²]
M [kN·m/m]
(q+g)k
Bohrpfahlwand (s = 0.45 m)
0.60 m
s = 0.45 m
1.20 m
w [mm]
EI = 1.590 · 10⁵ kN·m²/m
(q+g)k
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
qb,k [MN/m²]
qs,k,2 [kN/m²]
Bezeichnung
20.0 10.0 27.5 2.0 2.0 -0.667 0.667 0.00 10.00 (1+2) Auffüllung
19.0 9.0 30.0 0.0 0.0 -0.667 0.667 0.00 30.00 (3) Kiese
20.0 10.0 25.0 6.0 6.0 -0.667 0.667 0.00 30.00 (2) Tone und Schluffe
21.0 12.0 25.0 10.0 10.0 -0.667 0.667 1.20 80.00 (4.1) Tonstein
22.0 13.0 25.0 20.0 20.0 -0.667 0.667 2.00 150.00 (4.2) Tonstein


Bohrpfahlwand Süd
Norm: EC 7
Bohrpfahlwand
Anker- Steifenabstand = 5.80 m
Erddruckumlagerung: EAB 2012 Bild EB 70-1.a
Aktiver Erddruck nach: DIN 4085
Ersatzerddruck-Beiwert mit φ = 40 °
Pass. Erddruck nach: DIN 4085:2017
Bohrpfahldurchmesser = 0.60 m
Bohrpfahlabstand = 1.20 m
Anzahl unbew. Pfähle = 2
Einspanngrad = 1.000
Erf. Profillänge = 15.66 m
Erf. Einbindetiefe = 9.66 m
BS: DIN EN 1997-1: BS-T
γG = 1.20
γQ = 1.30
γEp = 1.30
Ankerabstand a = 5.80 m
fy,d (Gurtung) = 33.50 kN/cm²
Gurtbemessung: Einzellast[M=(q·a)·a/8]
mob. Ep erfüllt / μ = 0.54
μ(Vert. Tragfähigkeit) = 0.89
Bemessung:
Nachweis Bohrpfahlwand
E = 3000.00 kN/cm²
I = 530143.76 cm⁴/m
Bewehrung EC 2
Beton C 30/37
Stahl B500
M(d) = 552.6 kN·m
N(k) = -162.9 kN
eps(c2) [o/oo] = -3.50
ep(s1) [o/oo] = 5.19
As [cm²] = 69.2 (Mindestbew. = 14.1 cm²)
Pfahldurchmesser = 0.600 m
d1 = 0.0850 m
sig1(I) = 25.48 / sig2(I) = -26.64 MN/m²
Schubbewehrung:
Q(d) = VSd = 388.9 kN (bw = 0.594 m z = 0.300 m)
M(d) = 19.2 kN·m; N(k) = -222.8 kN
tauRd,max = 5.31 N/mm² (tauSd / tauRd,max = 0.4114)
As(Schub) = 16.0 cm²/m (Mindestbew. = 5.6 cm²/m)
Nachweis Unbewehrte Pfähle:
max eahd = 71.9 kN/m²
Überschnitthöhe = 0.447 m
Dicke Druckgewölbe = 0.224 m
Beton C 20/25
fcd = 9333.33 kN/m²
σd = 259.02 kN/m²
Nachweis OK
185
180
175
170
165
160
155
10.50
5.50
9.66
1 : 1.667
17.50
173.00
172.50
Steife 1 (-1205.2 ((q^0.50 ...)) kN
GW (171.50)
0.0
44.3
-5.5
185.7
-22.1
4.2
GW (171.50)
171.00 (1)
169.00 (2)
383.8
-25.4
167.40 (3)
167.00
-33.3
44.3/87.7
-135.1
-243.4
-243.4
-283.4/-250.1
104.6/115.0
160.40 (4)
0.0
270.1
-183.8
0.0
-392.1
118.3
M [kN·m/m]
(q+g)k
Bohrpfahlwand (s = 0.45 m)
0.60 m
s = 0.45 m
1.20 m
w [mm]
EI = 1.590 · 10^5 kN·m²/m
(q+g)k
154.89 (5)
-10
0
10
20
30
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
qb,k [MN/m²]
qs,k,2 [kN/m²]
Bezeichnung
20.0 10.0 27.5 2.0 2.0 -0.667 0.667 0.00 10.00 (1+2) Auffüllung
19.0 9.0 30.0 0.0 0.0 -0.667 0.667 0.00 30.00 (3) Kiese
20.0 10.0 25.0 6.0 6.0 -0.667 0.667 0.00 30.00 (2) Tone und Schluffe
21.0 12.0 25.0 10.0 10.0 -0.667 0.667 1.20 80.00 (4.1) Tonstein
22.0 13.0 25.0 20.0 20.0 -0.667 0.667 2.00 150.00 (4.2) Tonstein

Position: Baugrube Durchpressung Steife Schacht

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

Grundparameter

Einstellungen zur Tragsicherheit

Querschnittsbemessung : plastisch
Stabilitätsnachweis nach : 6.3.3 - Anhang B

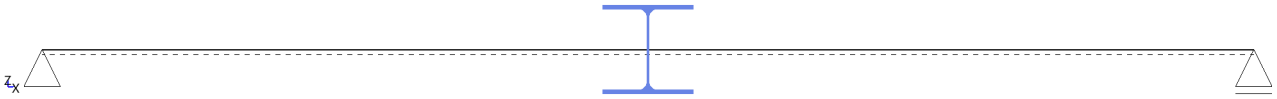
Norm und Sicherheitskonzept

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

System

Systemgrafik

Maßstab 1 : 25



Trägerlänge : 4.00 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 300

Profil	h	=	290	mm				
Steg (lichte Höhe)	h_1	=	208	mm	s	=	9	mm
Ober- und Untergurt	b	=	300	mm	t	=	14	mm
Ausrundung	r	=	27	mm				
Fläche	A	=	113.0	cm²				
Statische Werte	I_y	=	18300.0	cm⁴	W_y	=	1260.0	cm³
	I_z	=	6310.0	cm⁴	W_z	=	421.0	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	4.00	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	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
0.21	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
0.42	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
0.63	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
0.84	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
1.00	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
1.05	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
1.26	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
1.47	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
1.68	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
1.89	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
2.00	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
2.11	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
2.32	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
2.53	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
2.74	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
2.95	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
3.00	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
3.16	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
3.37	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
3.58	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
3.79	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00
4.00	-1832.0	0.0	0.00	0.0	0.00

Ergebnisse

Stabilitätsnachweis zentrische Normalkraft (Gl. 6.46)

$N_{Ed} / (\chi_T * N_{Rd}) = 0.82$ $N_{Ed} / (\chi_z * N_{Rd}) = 0.86$

N_{Ed}	=	1832.0 kN	N_{Rk}	=	2655.5 kN
			s_{kz}	=	4.00 m
λ_T	=	0.51	λ_z	=	0.57
$N_{cr,T}$	=	10295.9 kN	$N_{cr,z}$	=	8173.9 kN
χ_T	=	0.84	χ_z	=	0.80
γ_{M1}	=	1.00			

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

Position: Baugrube Durchpressung Steife Schacht

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

Grundparameter

Einstellungen zur Tragsicherheit

Querschnittsbemessung : plastisch
Stabilitätsnachweis nach : 6.3.3 - Anhang B

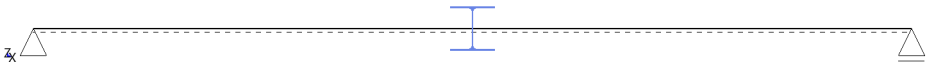
Norm und Sicherheitskonzept

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

System

Systemgrafik

Maßstab 1 : 50



Trägerlänge : 5.80 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 300

Profil	h	=	290	mm				
Steg (lichte Höhe)	h_1	=	208	mm	s	=	9	mm
Ober- und Untergurt	b	=	300	mm	t	=	14	mm
Ausrundung	r	=	27	mm				
Fläche	A	=	113.0	cm²				
Statische Werte	I_y	=	18300.0	cm⁴	W_y	=	1260.0	cm³
	I_z	=	6310.0	cm⁴	W_z	=	421.0	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	5.80	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	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
0.31	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
0.61	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
0.92	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
1.22	-1263.0	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]
1.45	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
1.53	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
1.83	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
2.14	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
2.44	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
2.75	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
2.90	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
3.05	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
3.36	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
3.66	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
3.97	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
4.27	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
4.35	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
4.58	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
4.88	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
5.19	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
5.49	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00
5.80	-1263.0	0.0	0.00	0.0	0.00

Ergebnisse

Stabilitätsnachweis zentrische Normalkraft (Gl. 6.46)

$N_{Ed} / (\chi_T * N_{Rd}) = 0.62$ $N_{Ed} / (\chi_z * N_{Rd}) = 0.74$

N_{Ed}	=	1263.0 kN	N_{Rk}	=	2655.5 kN
			s_{kz}	=	5.80 m
λ_T	=	0.64	λ_z	=	0.83
$N_{cr,T}$	=	6553.9 kN	$N_{cr,z}$	=	3887.7 kN
χ_T	=	0.76	χ_z	=	0.65
γ_{M1}	=	1.00			

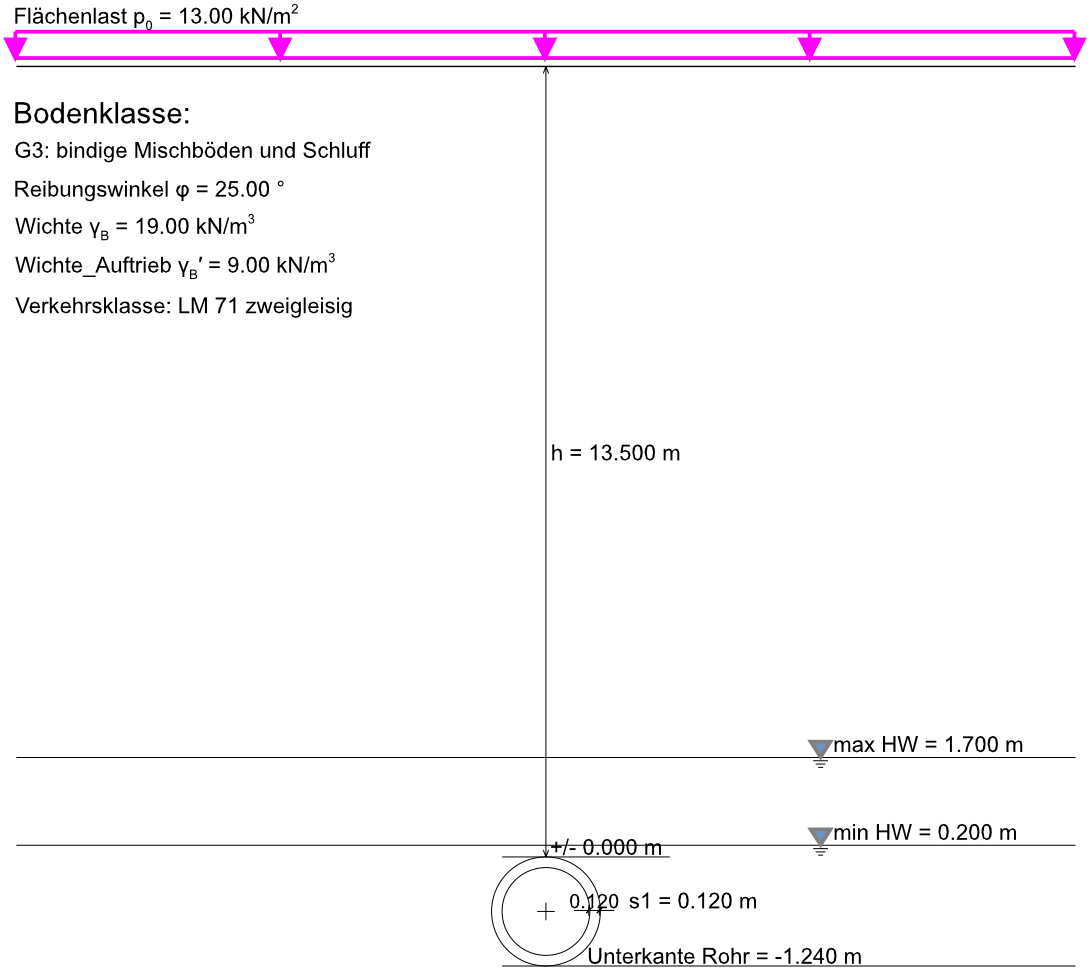
Nachweis bei x = 0.00 m nach Gl. (6.46) erfüllt.

RIB-Programm DWA-A161 22.0 D U R C H P R E S S R O H R Seite/Page 1

Durchpressung EÜ Drimbornstraße

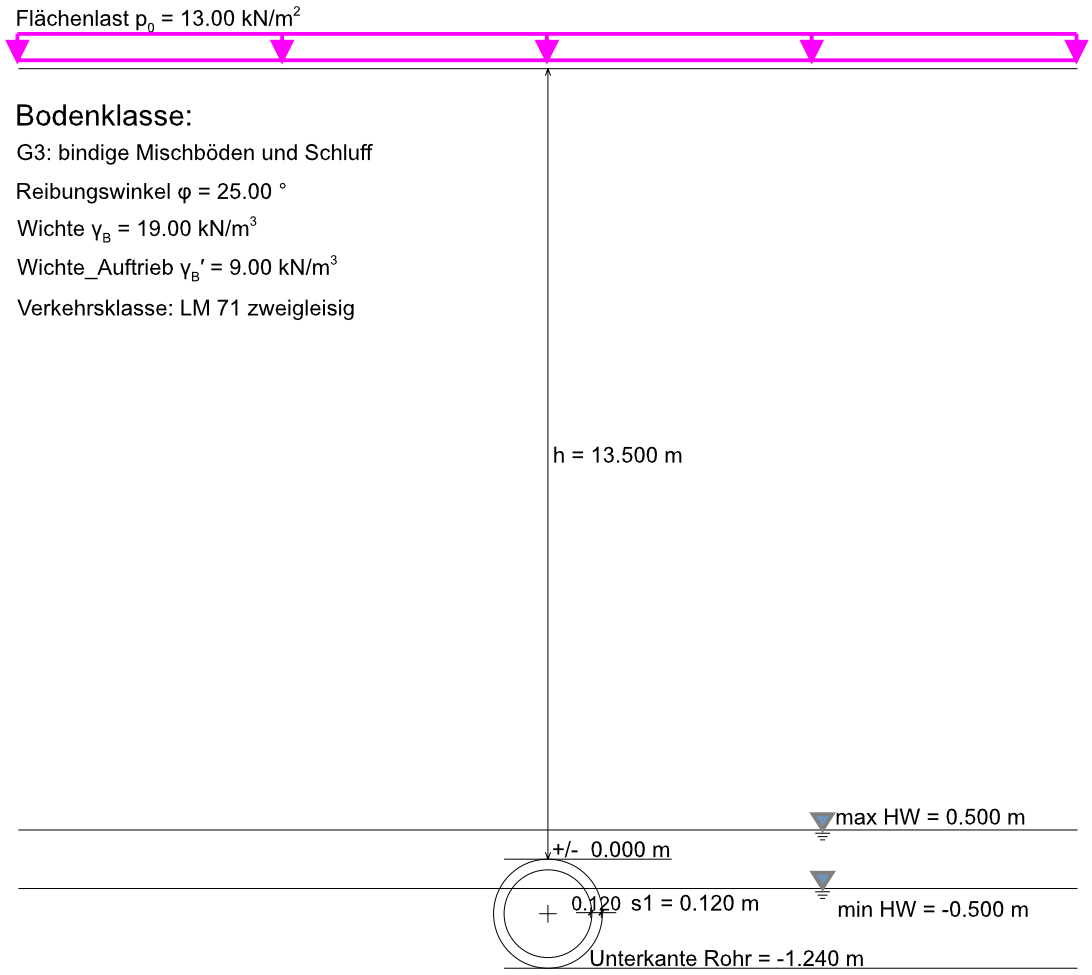
RIB DURO: Bauzustand

8.0 Stahlbeton- bzw. Stahlbetondruckrohr



RIB DURO: Betriebszustand

8.0 Stahlbeton- bzw. Stahlbetondruckrohr



STATISCHE BERECHNUNG VON VORTRIEBSROHREN

Nach DVGW-Merkblatt GW312 bzw. DWA-Arbeitsblatt A161, März 2014

Mindestwanddickenprüfung nach DWA-A161: Tab.19 und 20

```
Außendurchmesser          Da =    1240.0 mm
Mittlerer Radius          Rm =     560.0 mm
Mindest    Wanddicke   t.min =      93.0 mm
vorhandene Wanddicke t.vorh =     120.0 mm
```

Statische Berechnung von Vortriebsrohren vom Typ
Stahlbeton-Vortriebsrohr Typ 2 DIN V 1201 / DIN EN 1916

Protokoll der Eingabe:

Rohrabmessungen und Rohrdaten:

```
  Nennweite               DN 1000
  Außendurchmesser        Da =   1240 mm
  Innendurchmesser        Di =   1000 mm
  Wanddicke               t  =    120 mm

  Falztiefe im Bereich der Rohrverbindung:
  ext. delta.t =     50 mm
  int. delta.t =     50 mm

Bewehrung einlagig mittig BSt 500
  Ringbewehrung : As,r. = 16.0 Durchmesser 12.0 mm/m ( 18.1 cm2/m)
  Längsbewehrung: As,l. =   30 Durchmesser  7.0 mm/Umfang
```

Werkstoffkennwerte:

```
  Beton (Festigkeitsklasse des Betons)       = C40/50
  Wichte des Rohrwerkstoffes        Wichte.R = 25.000 kN/m3
  Elastizitätsmodul des Rohrs            E.R =  34500 N/mm2
  Zul. Rohr-Vergleichsspannung   sigma.VR,Rd =    6.0 N/mm2
  Ermüdungsfestigkeit des Betonstahls
  delta.sigma,Rsk/gamma.s,fat (0.100E+09 Lastzyk) = 29.4 N/mm2
```

Durchpressung EÜ Drimbornstraße

Teilsicherheitsbeiwerte (TS):

Bemessungswert für ständige Einwirkung	gamma.G	= 1.35
Bemessungswert für veränderliche Einwirkung	gamma.Q	= 1.35
TS-Beiwert für Beton (concrete)	gamma.c	= 1.50
TS-Beiwert für Betonstahl (steel)	gamma.s	= 1.15
Faktor für Festigkeitsabnahme(t) bei Beton	alpha.D	= 0.85
Baustoffbeiwert zur Best. des Tragwiderstandes	gamma.R	= 1.35
Beim Nachweis gegen Ermüdung werden benützt:		
TS-Beiwert für Einwirkungen	gamma.F,fat	= 1.00
TS-Beiwert für Modellunsicherheiten	gamma.Ed,fat	= 1.00
TS-Beiwert für Betonstahl	gamma.s,fat	= 1.15

Rohrfugen:

Die geplante Vortriebstrasse ist gerade. Der Vortrieb erfolgt unter sorgfältiger Vermessung und Steuerung so genau, dass die bauausführende Firma die Druckspannungsübertragung im gedrückten Bereich der Fuge, bei einem Klaffungsmaß von 0.47 aus geradlinigem Vortrieb, sicherstellt. Bei der hier vorliegenden Berechnung für Vortriebsrohre werden die Mindestbemessungsschnittkräfte um 0.0 % erhöht.

MINDESTBEWEHRUNG von Vortriebsrohren nach DIN V 1201

Abschnitt 5.3.7(2) als Ergänzung zu DIN EN 1916

Mindestbewehrung als def. Anteil der Betonquerschnittsfläche A-0,min, berechnet aus der Mindestwanddicke nach DIN V 1201, Abschnitt 5.3.5.2

Mittlerer Rohrradius: rm = (di + tmin)/2 = 0.547 m
Mindestwanddicke tmin, abhängig von Betonfestigkeit fck und rm:
für tmin aus der Bedingung tmin/rm = 0.17 folgt tmin = 93 mm

Mindestbetonquerschnitt: A-0,min pro m 930 cm2
Einlagige Bewehrung:
Erforderliche Mindestbewehrung = 0.7 % von A-0,min

Schnitt	Kämpfer	Scheitel	Sohle
erforderlich As,ring (cm2/m)	6.6	6.6	6.6
vorhanden As,ring (cm2/m)	18.1	18.1	18.1

MINDESTBEMESSUNG (Zwängungskräfte im Bauzustand)

```
RIB-Programm DWA-A161 22.0   D U R C H P R E S S R O H R Seite/Page   3

Durchpressung EÜ Drimbornstraße

Summe M.Kämpfer  =  -45.0 * Rm2
Summe M.Scheitel =   45.0 * Rm2
Summe M.Sohle    =   45.0 * Rm2
                                 1.0 > z/da >= 0.47
Summe N.Kämpfer  = -270.0 * Rm
Summe N.Scheitel = -135.0 * Rm
Summe N.Sohle    = -135.0 * Rm
```

RIB-Programm DWA-A161 22.0 D U R C H P R E S S R O H R Seite/Page 4

Durchpressung EÜ Drimbornstraße

Schnitt		Kämpfer	Scheitel	Sohle
Querschnittswerte:				
Fläche	(cm2/m)	1471.43	1471.43	1471.43
Widerstandsmoment	(cm3/m)	2415.20	2765.63	2765.63

Schnittkräfte

Momente	(kNm/m):			
Summe M.q = (Gesamtlast)		-14.11	14.11	14.11

Normalkräfte	(kN/m):			
Summe N.q = (Gesamtlast)		-151.20	-75.60	-75.60

RIB-Programm DWA-A161 22.0 D U R C H P R E S S R O H R Seite/Page 5

Durchpressung EÜ Drimbornstraße

Bemessung im Zustand II nach DIN V 1201 (DIN 1045-1:2008)
mit gamma.c = 1.50, gamma.s = 1.15, alpha.D = 0.85, gamma.R = 1.35
und fcd = 22.67

Schnitt	Kämpfer	Scheitel	Sohle
Wanddicke t / Nutzhöhe d	120/ 38	120/ 82	120/ 82
DESIGN-Bemessung:			
Stahldehnung eps.s (0/00)	3.24	10.00	10.00
Betonstauchung eps.1 (0/00)	-3.50	-1.99	-1.99
Innerer Hebelarm (cm)	3.00	7.70	7.70
erforderlich As,ring (cm2/m)	4.8	2.9	2.9
vorhanden As,ring (cm2/m)	18.1	18.1	18.1

Rohrvergleichsspannung (sigma.VR) im Zustand I nach DIN V 1201 (N/mm2)
mit gamma.G = 1.0, gamma.Q = 1.0 und gamma.R = 1.0

sigma.M =	4.328	3.780	3.780
sigma.N =	-0.761	-0.381	-0.381
sigma.N/sigma.M =	-0.176	-0.101	-0.101
Beiwert fR (DIN V 1201) =	0.900	0.946	0.946
vorhanden sigma.VR,Ed =	3.210	3.215	3.215
zulässig sigma.VR,Rd =	6.000	6.000	6.000

Einbau:
Der Einbau der Vortriebsrohre erfolgt im unterirdischen Rohrvortriebs-
verfahren. Die Vortriebsrohre werden im Vorpressschacht hinter einem
Schneidwerkzeug eingebaut und durch Pressenkraft vorgeschoben.
Zur Übertragung der Vorpresskräfte werden in die Rohrfugen hölzerne
Ausgleichsringe eingelegt. Zur Führung der Rohre werden über den
Rohrfugen Manschetten angeordnet.
Die Vermessung und genaue Steuerung sowie ein sorgfältiger
Bodenabbau sind Voraussetzung für die vorliegende Berechnung.
Beim Einbau ist zu beachten:
DVGW Merkblatt W304 bzw. ATV Arbeitsblatt A125: Rohrvortrieb
und verwandte Verfahren

Durchpressung EÜ Drimbornstraße

EINBAUVORSCHRIFT BEACHTEN:
Voraussetzung für die Verwendung der nachfolgend berechneten und bemessenen Vortriebsrohre ist:
- Eine ständige Bentonitschmierung - während der Vortriebsarbeiten
- sowie eine Verpressung des Ringraumes
  zwischen Vortriebsrohr und Boden - nach Abschluss des Vortriebes

ANGABEN zum Boden und Vortrieb im BAUZUSTAND

BODENKENNGRÖSSEN:
Massgebende Bodenart nach GW312/A161-Tab.1: Bodengruppe G3

Die Bodengruppen bedeuten
 Gruppe 1: nichtbindige Sande und Kiese
 Gruppe 2: schwachbindige Sande und Kiese
 Gruppe 3: bindige Mischböden und Schluffe
 Gruppe 4: bindige Böden

Rohrvortrieb im Lockergestein
mit Auflagerwinkel 2alpha = 180 Grad
Wichte über Wasser Gamma-rechnerisch = 19.00 kN/m3
Wichte unter Wasser Gamma-Auftrieb = 9.00 kN/m3

Erddruckverhältnis über Rohrscheitel K1 = 0.500
unter Rohrscheitel K2 im Bauzustand = 0.400
Winkel der inneren Reibung Phi' = 25.00 Grad
Reibungswinkel in der Scherfuge Del' = 8.33 Grad
Konsistenz im Bauzustand I.c = 0.50
1. Faktor für Verformungsmodul f1 = 0.20
2. Faktor für Verformungsmodul im BZ f2 = 1.00
Verformungsmodul im Bauzustand E.B = 6.86 N/mm2

Abminderungsfaktor bei Gewölbebildung im Bauzustand Kappa = 0.654
Abminderungsfaktor bei Gewölbebildung
unter Auflast im Bauzustand Kappa.0 = 0.398

Durchpressung EÜ Drimbornstraße

BERECHNUNG DES BAUZUSTANDES

Lastannahmen:

Überdeckungshöhe	h	=	13.50 m
Flächenlast	p0	=	13.00 kN/m2
Verkehrslasttyp		=	LM 72 - mehrgleisig
Maximaler Grundwasserstand max GW		=	1.70 m über Rohr-Scheitel
Minimaler Grundwasserstand min GW		=	0.20 m über Rohr-Scheitel

BELASTUNGEN

Erdlasten mit Auftrieb			
Über die Belastungshöhe gemittelte			
Wichte des Bodens		=	18.9 kN/m3
Vertikale Erdlast	ev	=	214.4 kN/m2
Auflast	p0	=	13.0 kN/m2
Horizontale Erdlast	eh	=	88.0 kN/m2
Verkehrslasten			
Verkehrsbelastung	p	=	15.00 kN/m2
Stossbeiwert	wir.phi	=	1.00
Stossbeiwert	phi0	=	1.67
statisch wirkend	pV	=	15.0 kN/m2
statisch wirkend	pH	=	6.0 kN/m2
Maximale Gesamtbelastung	qv	=	229.4 kN/m2
	qh	=	94.0 kN/m2

RIB-Programm DWA-A161 22.0 D U R C H P R E S S R O H R Seite/Page 8

Durchpressung EÜ Drimbornstraße

Schnitt		Kämpfer	Scheitel	Sohle
Querschnittswerte:				
Fläche	(cm2/m)	1471.43	1471.43	1471.43
Widerstandsmoment	(cm3/m)	2415.20	2765.63	2765.63

Schnittkräfte nach Abschnitt 7 und 8

Momente	(kNm/m):			
M.G = (Eigengewicht)		-0.411	0.361	0.664
M.w = (Wasserfüll./Grundw.)		-0.385	0.337	0.620
M.ev = (Erdlast vertikal)		-11.228	11.228	11.228
M.eh = (Erdlast horizontal)		4.608	-4.608	-4.608
M.pV = (Verkehr vertikal)		-1.176	1.176	1.176
M.pH = (Verkehr horizontal)		0.470	-0.470	-0.470
M.pe = (Überdruck)		-0.002	-0.002	-0.002
M.auf= (Auftrieb)		0.385	-0.337	-0.620
Summe M.q = (Gesamtlast)		-7.739	7.685	7.988
M.Gk (Summe ständige Last)		-7.034	6.979	7.282
M.Qk (Summe veränderliche L)		-0.706	0.706	0.706
M.Gd=gamma.G*M.Gk=1.35*M.Gk		-9.496	9.422	9.831
M.Qd=gamma.Q*M.Qk=1.35*M.Qk		-0.953	0.953	0.953
M.Ed = M.Gd + M.Qd		-10.448	10.374	10.783

Normalkräfte	(kN/m):			
N.g = (Eigengewicht)		-2.639	0.420	-2.399
N.w = (Wasserfüll./Grundw.)		0.674	1.960	2.465
N.ev = (Erdlast vertikal)		-80.083	-39.982	-39.982
N.eh = (Erdlast horizontal)		-16.409	-32.867	-32.867
N.pV = (Verkehr vertikal)		-8.400	0.000	0.000
N.pH = (Verkehr horizontal)		0.000	-3.360	-3.360
N.pe = (Überdruck)		-1.240	-1.240	-1.240
N.auf= (Auftrieb)		-0.674	-1.960	-2.465
Summe N.q = (Gesamtlast)		-108.772	-77.029	-79.848
N.Gk (Summe ständige Last)		-100.372	-73.669	-76.488
N.Qk (Summe veränderliche L)		-8.400	-3.360	-3.360
N.Gd=gamma.G*N.Gk=1.35*N.Gk		-135.502	-99.453	-103.259
N.Qd=gamma.Q*N.Qk=1.35*N.Qk		-11.340	-4.536	-4.536
N.Ed = N.Gd + N.Qd		-146.842	-103.989	-107.795

RIB-Programm DWA-A161 22.0 D U R C H P R E S S R O H R Seite/Page 9

Durchpressung EÜ Drimbornstraße

Bemessung im Zustand II nach DIN V 1201 (DIN 1045-1:2008)
mit gamma.c = 1.50, gamma.s = 1.15, alpha.D = 0.85, gamma.R = 1.35
und fcd = 22.67

Schnitt	Kämpfer	Scheitel	Sohle
Wanddicke t / Nutzhöhe d	120/ 38	120/ 82	120/ 82
DESIGN-Bemessung:			
Stahldehnung eps.s (0/00)	7.67	10.00	10.00
Betonstauchung eps.1 (0/00)	-3.50	-1.69	-1.74
Innerer Hebelarm (cm)	3.30	7.80	7.80
erforderlich As,ring (cm2/m)	1.6	1.3	1.4
vorhanden As,ring (cm2/m)	18.1	18.1	18.1

Rohrvergleichsspannung (sigma.VR) im Zustand I nach DIN V 1201 (N/mm2)
mit gamma.G = 1.0, gamma.Q = 1.0 und gamma.R = 1.0

sigma.M =	3.204	2.779	2.888
sigma.N =	-0.739	-0.523	-0.543
sigma.N/sigma.M =	-0.231	-0.188	-0.188
Beiwert fR (DIN V 1201) =	0.900	0.900	0.900
vorhanden sigma.VR,Ed =	2.219	2.030	2.111
zulässig sigma.VR,Rd =	6.000	6.000	6.000

Stabilitätsnachweis im BZ entfällt

ANGABEN zum Boden und Vortrieb im BETRIEBSZUSTAND

BODENKENNGRÖSSEN:
Massgebende Bodenart nach GW312/A161-Tab.1: Bodengruppe G3

Die Bodengruppen bedeuten
Gruppe 1: nichtbindige Sande und Kiese
Gruppe 2: schwachbindige Sande und Kiese
Gruppe 3: bindige Mischböden und Schluffe
Gruppe 4: bindige Böden

RIB-Programm DWA-A161 22.0 D U R C H P R E S S R O H R Seite/Page 10

Durchpressung EÜ Drimbornstraße

Rohrvortrieb im Lockergestein
mit Auflagerwinkel 2alpha = 180 Grad
Wichte über Wasser Gamma-rechnerisch = 19.00 kN/m3
Wichte unter Wasser Gamma-Auftrieb = 9.00 kN/m3

Erddruckverhältnis über Rohrscheitel K1 = 0.500
unter Rohrscheitel K2 im Betriebszustand = 0.500
Winkel der inneren Reibung Phi' = 25.00 Grad
Reibungswinkel in der Scherfuge Del' = 8.33 Grad
Konsistenz im Betriebszustand I.c = 0.50
1. Faktor für Verformungsmodul f1 = 0.20
2. Faktor für Verformungsmodul im BT f2 = 1.00
Verformungsmodul im Betriebszustand E.B = 6.91 N/mm2

Abminderungsfaktor bei Gewölbebildung im Betriebszustand Kappa = 0.654
Abminderungsfaktor bei Gewölbebildung
unter Auflast im Betriebszustand Kappa.0 = 0.398

Durchpressung EÜ Drimbornstraße

BERECHNUNG DES BETRIEBSZUSTANDES

Lastannahmen:

Überdeckungshöhe	h	= 13.50 m
Flächenlast	p0	= 13.00 kN/m2
Verkehrslasttyp		= LM 72 - mehrgleisig
Maximaler Grundwasserstand max GW		= 0.50 m über Rohr-Scheitel
Minimaler Grundwasserstand min GW		= 0.50 m unter Rohr-Scheitel
Rohrleitung leer		

BELASTUNGEN

Erdlasten ohne Auftrieb		
Vertikale Erdlast	ev	= 172.8 kN/m2
Auflast	p0	= 13.0 kN/m2
Horizontale Erdlast	eh	= 91.7 kN/m2
Verkehrslasten		
Verkehrsbelastung	p	= 15.00 kN/m2
Stossbeiwert	wir.phi	= 1.00
Stossbeiwert	phi0	= 1.67
statisch wirkend	pV	= 15.0 kN/m2
statisch wirkend	pH	= 7.5 kN/m2
Maximale Gesamtbelastung	qv	= 187.8 kN/m2
	qh	= 99.2 kN/m2

RIB-Programm DWA-A161 22.0 D U R C H P R E S S R O H R Seite/Page 12

Durchpressung EÜ Drimbornstraße

Schnitt		Kämpfer	Scheitel	Sohle
Querschnittswerte:				
Fläche	(cm2/m)	1471.43	1471.43	1471.43
Widerstandsmoment	(cm3/m)	2415.20	2765.63	2765.63

Schnittkräfte nach Abschnitt 7 und 8

Momente	(kNm/m):			
M.G = (Eigengewicht)		-0.411	0.361	0.664
M.w = (Wasserfüll./Grundw.)		0.000	0.000	0.000
M.ev = (Erdlast vertikal)		-13.550	13.550	13.550
M.eh = (Erdlast horizontal)		7.190	-7.190	-7.190
M.pV = (Verkehr vertikal)		-1.176	1.176	1.176
M.pH = (Verkehr horizontal)		0.588	-0.588	-0.588
M.auf= (Auftrieb)		0.000	0.000	0.000
Summe M.q = (Gesamtlast)		-7.359	7.309	7.612
M.Gk (Summe ständige Last)		-6.771	6.721	7.024
M.Qk (Summe veränderliche L)		-0.588	0.588	0.588
M.Gd=gamma.G*M.Gk=1.35*M.Gk		-9.141	9.074	9.483
M.Qd=gamma.Q*M.Qk=1.35*M.Qk		-0.794	0.794	0.794
M.Ed = M.Gd + M.Qd		-9.935	9.868	10.277

Normalkräfte	(kN/m):			
N.g = (Eigengewicht)		-2.639	0.420	-2.399
N.w = (Wasserfüll./Grundw.)		0.000	0.000	0.000
N.ev = (Erdlast vertikal)		-96.784	0.000	0.000
N.eh = (Erdlast horizontal)		0.000	-51.354	-51.354
N.pV = (Verkehr vertikal)		-8.400	0.000	0.000
N.pH = (Verkehr horizontal)		0.000	-4.200	-4.200
N.auf= (Auftrieb)		0.000	0.000	0.000
Summe N.q = (Gesamtlast)		-107.823	-55.134	-57.954
N.Gk (Summe ständige Last)		-99.423	-50.934	-53.754
N.Qk (Summe veränderliche L)		-8.400	-4.200	-4.200
N.Gd=gamma.G*N.Gk=1.35*N.Gk		-134.222	-68.762	-72.567
N.Qd=gamma.Q*N.Qk=1.35*N.Qk		-11.340	-5.670	-5.670
N.Ed = N.Gd + N.Qd		-145.562	-74.432	-78.237

RIB-Programm DWA-A161 22.0 D U R C H P R E S S R O H R Seite/Page 13

Durchpressung EÜ Drimbornstraße

Bemessung im Zustand II nach DIN V 1201 (DIN 1045-1:2008)
mit gamma.c = 1.50, gamma.s = 1.15, alpha.D = 0.85, gamma.R = 1.35
und fcd = 22.67

Schnitt	Kämpfer	Scheitel	Sohle
Wanddicke t / Nutzhöhe d	120/ 38	120/ 82	120/ 82
DESIGN-Bemessung:			
Stahldehnung eps.s (0/00)	8.62	10.00	10.00
Betonstauchung eps.1 (0/00)	-3.50	-1.58	-1.63
Innerer Hebelarm (cm)	3.30	7.80	7.80
erforderlich As,ring (cm2/m)	1.3	1.6	1.7
vorhanden As,ring (cm2/m)	18.1	18.1	18.1

Rohrvergleichsspannung (sigma.VR) im Zustand I nach DIN V 1201 (N/mm2)
mit gamma.G = 1.0, gamma.Q = 1.0 und gamma.R = 1.0

sigma.M =	3.047	2.643	2.752
sigma.N =	-0.733	-0.375	-0.394
sigma.N/sigma.M =	-0.240	-0.142	-0.143
Beiwert fR (DIN V 1201) =	0.900	0.905	0.904
vorhanden sigma.VR,Ed =	2.083	2.053	2.132
zulässig sigma.VR,Rd =	6.000	6.000	6.000

Stabilitätsnachweis im BT entfällt



Durchpressung EÜ Drimbornstraße

Zulässige VORTRIEBSKRAFT F.j nach DWA-A 161: 2013

Ausgangsdaten:

Nummer des Segments:
Berechnet wird das 1. Segment der Strecke ab Presse

Trassengeometrie:
Das Trassensegment ist gerade

Rohrgeometrie:
Länge einzelnes Rohr = 3.000 m
Aussendurchmesser Da = 1240.0, kleinster da.min = 1140.0 mm
Innendurchmesser Di = 1000.0, grösster di.max = 1100.0 mm
Wanddicke t = 0.1200, kleinste t.min = 0.0200 m
am Spitzende t.ror = 0.0200 m
minimale Fläche A.R = 0.0704 m2

Rohrmaterial:
E-Modul in Achsrichtung E.axl = 36800.0 N/mm2
Längs-Druckfestigkeit f.k = 60.0 N/mm2
mittlere Zugfestigkeit f.tm = 4.1 N/mm2
Rechenwert der Festigkeit f.d = 44.4 N/mm2
Teils.Beiwert für Bauteilwiderstand in Achsrichtung Gamma.M.axl = 1.35

Druckübertragungsring (DUER):
Anzahl DUERs pro Rohrfuge n_duer = 1
DUER-Aussendurchmesser Da.duer = 1140. mm
Abstand DUER zu Rohr.aussen.min a.a = 0. mm
DUER-Innendurchmesser Di.duer = 1100. mm
Abstand DUER zu Rohr.innen.max a.i = 0. mm
DUER-Breite t.duer = 0.020 m
DUER-Fläche A.duer = 0.070 m2
1. DUER: Werkstoff-Nr. 1, Dicke s_d() = 25.0 mm
Eingegebene Vorbelastung = 30. % ist vorrangig wenn > 0

Bauausführung:
TeilsicherheitsBeiwert für Einwirkungen bei Belastung längs der Achse
und vorübergehende BemessungsSituation (Tab. 12) Gamma.f.axl = 1.15
Vortriebskraft, geschätzt V_estim = 1500.0 kN
Gemessene oder garantierte Abwinkelungen, falls >= 0: keine eingegeben

RIB-Programm DWA-A161 22.0 D U R C H P R E S S R O H R Seite/Page 15

Durchpressung EÜ Drimbornstraße

Berechnung:

```
Abwinkelung aus Krümmung der Trasse phi.R   =  0.000 Grad
Abwinkelung aus Steuerbewegungen    phi.St0 =  0.312 Grad
                                    phi.St  =  0.375 Grad

Maximale Abweichung des Rohrspiegels
von der Rechtwinkligkeit                        d.a.cal =    8.0 mm
Hieraus Abwinkelung aus Fertigungstoleranz phi.d.a.cal =  0.402 Grad
Rechnerische gesamte Abwinkelung pro Fuge  phi.ges     =  0.622 Grad

(Abstand DUER zu Rohrwandung)/t.min:
aussen a.a/t.min = at.a =  0.0000 mm
innen  a.i/t.min = at.i =  0.0000 mm
mittel             at.m =  0.0000 mm
Beiwert nach Bild 15        kappa.R1 =  0.0000
Beiwert nach Bild 16        kappa.R2 =  0.0000
Maximaler Beiwert           kappa.R  =  0.0000
Beiwert für max.zul.Sigma    alfa.DT =  1.0000
t.Rohr.min/t.DUER            kappa.t =  1.0000
max.zul.Sigma im Rohr       sigm_cal =   44.44 N/mm2

Druckspannung im Rohr       sigm.max =   44.44 N/mm2
Beiwert                     alfa.b   =  0.6983
Beiwert                     alfa.phi =  0.0000
Verformungsfaktor           kappa.ab =  0.5000
Verformung des Rohres       delta.sR =  1.81 mm
```

Durchpressung EÜ Drimbornstraße

```
Iteration n_iter =  0: **********************************
Gleichverteilte Spannung       sig0.DUER =  21.32 N/mm2
Massgebende VorbelastungsSpannung sig1   =  42.63 N/mm2
DUER-Vorbelastung VBi
in Prozent von sigm.cal:   VBi =  95.92 %
eingegebenes VBi (darf nicht unterschritten werden) = 30.00 %
Die Berechnung erfolgt mit VBi =  95.92 %
DUER Nr.                          1
Dicke                         25.00 mm
Material                   Vollholz
E-Modul                    9853.49 N/mm2
linearer VergleichsModul    661.76 N/mm2
Verformungsanteil             1.68
DUER-Gesamt-Verformung  delta.sD =  1.7 mm
Fugenklaffungsmass           z_k =  0.282 von 1.0
Integral                         =  0.0061 m2
Verhältnis sigm.max zu sigm.0 = smaxds0 =  5.81
Geschätzte Vortriebskraft       V_estim =  1500.0 kN
Zulässige  Vortriebskraft      zul. F.j =   468.4 kN

Iteration n_iter =  1: **********************************
Gleichverteilte Spannung       sig0.DUER =  13.99 N/mm2
Massgebende VorbelastungsSpannung sig1   =  27.97 N/mm2
DUER-Vorbelastung VBi
in Prozent von sigm.cal:   VBi =  62.94 %
Die Berechnung erfolgt mit VBi =  62.94 %
DUER Nr.                          1
Dicke                         25.00 mm
Material                   Vollholz
E-Modul                    4013.36 N/mm2
linearer VergleichsModul    422.34 N/mm2
Verformungsanteil             2.63
DUER-Gesamt-Verformung  delta.sD =  2.6 mm
Fugenklaffungsmass           z_k =  0.359 von 1.0
Integral                         =  0.0070 m2
Verhältnis sigm.max zu sigm.0 = smaxds0 =  5.02
Geschätzte Vortriebskraft       V_estim =   984.2 kN
Zulässige  Vortriebskraft      zul. F.j =   541.9 kN
```

```
RIB-Programm DWA-A161 22.0   D U R C H P R E S S R O H R Seite/Page  17

Durchpressung EÜ Drimbornstraße


Iteration n_iter =  2: **********************************
Gleichverteilte Spannung       sig0.DUER =  10.84 N/mm2
Massgebende VorbelastungsSpannung sig1   =  21.69 N/mm2
DUER-Vorbelastung VBi
in Prozent von sigm.cal:   VBi =  48.79 %
Die Berechnung erfolgt mit VBi =  48.79 %
DUER Nr.                        1
Dicke                       25.00 mm
Material                  Vollholz
E-Modul                   2425.70 N/mm2
linearer VergleichsModul   328.34 N/mm2
Verformungsanteil            3.38
DUER-Gesamt-Verformung  delta.sD =  3.4 mm
Fugenklaffungsmass           z_k =  0.420 von 1.0
Integral                         =  0.0077 m2
Verhältnis sigm.max zu sigm.0 = smaxds0 =  4.57
Geschätzte Vortriebskraft       V_estim =   763.0 kN
Zulässige  Vortriebskraft      zul. F.j =   595.2 kN

Iteration n_iter =  3: **********************************
Gleichverteilte Spannung       sig0.DUER =   9.65 N/mm2
Massgebende VorbelastungsSpannung sig1   =  19.30 N/mm2
DUER-Vorbelastung VBi
in Prozent von sigm.cal:   VBi =  43.43 %
Die Berechnung erfolgt mit VBi =  43.43 %
DUER Nr.                        1
Dicke                       25.00 mm
Material                  Vollholz
E-Modul                   1973.22 N/mm2
linearer VergleichsModul   296.14 N/mm2
Verformungsanteil            3.75
DUER-Gesamt-Verformung  delta.sD =  3.8 mm
Fugenklaffungsmass           z_k =  0.450 von 1.0
Integral                         =  0.0080 m2
Verhältnis sigm.max zu sigm.0 = smaxds0 =  4.39
Geschätzte Vortriebskraft       V_estim =   679.1 kN
Zulässige  Vortriebskraft      zul. F.j =   620.2 kN
```

Durchpressung EÜ Drimbornstraße

```
Iteration n_iter =  4: **********************************
Gleichverteilte Spannung       sig0.DUER =   9.23 N/mm2
Massgebende VorbelastungsSpannung sig1   =  18.46 N/mm2
DUER-Vorbelastung VBi
in Prozent von sigm.cal:   VBi =  41.54 %
Die Berechnung erfolgt mit VBi =  41.54 %
DUER Nr.                        1
Dicke                       25.00 mm
Material                  Vollholz
E-Modul                   1834.16 N/mm2
linearer VergleichsModul   285.51 N/mm2
Verformungsanteil            3.89
DUER-Gesamt-Verformung  delta.sD =  3.9 mm
Fugenklaffungsmass           z_k =  0.461 von 1.0
Integral                         =  0.0081 m2
Verhältnis sigm.max zu sigm.0 = smaxds0 =  4.32
Geschätzte Vortriebskraft       V_estim =   649.7 kN
Zulässige  Vortriebskraft      zul. F.j =   629.5 kN

Iteration n_iter =  5: **********************************
Gleichverteilte Spannung       sig0.DUER =   9.09 N/mm2
Massgebende VorbelastungsSpannung sig1   =  18.18 N/mm2
DUER-Vorbelastung VBi
in Prozent von sigm.cal:   VBi =  40.90 %
Die Berechnung erfolgt mit VBi =  40.90 %
DUER Nr.                        1
Dicke                       25.00 mm
Material                  Vollholz
E-Modul                   1788.94 N/mm2
linearer VergleichsModul   281.97 N/mm2
Verformungsanteil            3.94
DUER-Gesamt-Verformung  delta.sD =  3.9 mm
Fugenklaffungsmass           z_k =  0.465 von 1.0
Integral                         =  0.0082 m2
Verhältnis sigm.max zu sigm.0 = smaxds0 =  4.30
Geschätzte Vortriebskraft       V_estim =   639.6 kN
Zulässige  Vortriebskraft      zul. F.j =   632.7 kN
```

Durchpressung EÜ Drimbornstraße

```
Iteration n_iter =  6: **********************************
Gleichverteilte Spannung       sig0.DUER =   9.04 N/mm2
Massgebende VorbelastungsSpannung sig1   =  18.08 N/mm2
DUER-Vorbelastung VBi
in Prozent von sigm.cal:   VBi =  40.68 %
Die Berechnung erfolgt mit VBi =  40.68 %
DUER Nr.                        1
Dicke                       25.00 mm
Material                  Vollholz
E-Modul                   1773.84 N/mm2
linearer VergleichsModul   280.78 N/mm2
Verformungsanteil            3.96
DUER-Gesamt-Verformung  delta.sD =  4.0 mm
Fugenklaffungsmass           z_k =  0.466 von 1.0
Integral                         =  0.0082 m2
Verhältnis sigm.max zu sigm.0 = smaxds0 =  4.29
Geschätzte Vortriebskraft       V_estim =   636.1 kN
Zulässige  Vortriebskraft      zul. F.j =   633.8 kN

Iteration n_iter =  7: **********************************
Gleichverteilte Spannung       sig0.DUER =   9.02 N/mm2
Massgebende VorbelastungsSpannung sig1   =  18.05 N/mm2
DUER-Vorbelastung VBi
in Prozent von sigm.cal:   VBi =  40.60 %
Die Berechnung erfolgt mit VBi =  40.60 %
DUER Nr.                        1
Dicke                       25.00 mm
Material                  Vollholz
E-Modul                   1768.75 N/mm2
linearer VergleichsModul   280.38 N/mm2
Verformungsanteil            3.96
DUER-Gesamt-Verformung  delta.sD =  4.0 mm
Fugenklaffungsmass           z_k =  0.467 von 1.0
Integral                         =  0.0082 m2
Verhältnis sigm.max zu sigm.0 = smaxds0 =  4.29
Geschätzte Vortriebskraft       V_estim =   634.9 kN
Zulässige  Vortriebskraft      zul. F.j =   634.2 kN
```

```
RIB-Programm DWA-A161 22.0   D U R C H P R E S S R O H R Seite/Page  20

Durchpressung EÜ Drimbornstraße


Ergebnis nach  7 Iterationen:
Geschätzte Vortriebskraft     VPRES   =  1500.0 kN
Zulässige  Vortriebskraft    zul. F.j =   634.2 kN
Fugenklaffungsmass                z_k =   0.467 von 1.0
DUER-Vorbelastung                 VBi =   40.60 %
-------------------------------------------------------------------------

Stahlgewicht ohne Zuschläge für Muffe oder Stahlverschnitt
Ringbewehrung                                        48.9 kg/m
Längsbewehrung                                        9.1 kg/m
-----------------------------------------------------------
Gesamtbewehrung                                      58.0 kg/m
-----------------------------------------------------------
Programm Duro: Ende der Berechnung von _DURO.DUR
-------------------------------------------------------------------------
```