

Geotechnik

**BAUGRUND- und
GRÜNDUNGSGUTACHTEN
(Fassung E)**

Projekt-Nr.:	21/3018
Bauvorhaben:	Osnabrück, Strecke 2992 Stützwand Turnerstraße km 133,995 bis km 134,267
Bestellung Nr.:	0016 / ACX / 92295337 0016 / D07 / 10609927
Auftraggeber:	DB Netz AG Projekte KIB Bremen/Osnabrück Lindemannallee 3 30173 Hannover
Aufsteller:	BAUGRUND Stralsund Ingenieurgesellschaft mbH Carl-Heydemann-Ring 55 18437 Stralsund
Bearbeiter:	Dipl.-Ing. Holger Chamier

Stralsund, 19. August 2022 (Fassung E)

INHALT

1.	Unterlagenverzeichnis	3
2	Anlagenverzeichnis.....	5
3	Bauvorhaben / Aufgabenstellung	5
4	Baugrundverhältnisse	6
4.1	Geologische Verhältnisse	6
4.2	Art, Umfang und Lage der Baugrundaufschlüsse	6
4.3	Baugrundsichtung	8
4.4	Art und Umfang der Laboruntersuchungen	9
4.5	Baugrundeigenschaften / Baugrundklassifizierung	11
4.6	Wasserverhältnisse und Wassereigenschaften.....	15
5	Berechnungskennwerte / Berechnungsprofile / Bodenklassifikation	18
5.1	Charakteristische Bodenkennwerte	18
5.2	Auffüllungen / Hinterfüllungen	21
5.3	Bemessungswasserstände	22
5.4	Homogenbereiche	22
6	Gründungstechnische Folgerungen, Empfehlungen und Hinweise	24
6.1	Allgemeine Hinweise zur Planung und Bemessung	24
6.2	Aufgelöste Bohrpfahlwand als Vorsatzschale.....	25
6.3	Sanierung mit rückverankerter Vorsatzschale	26
6.4	Ersatz der Bestandswand durch überschnittene Bohrpfahlwand.....	27
6.5	Bodenverbesserung durch Düsenstrahlverfahren	27
6.6	Hinweise zu Baugruben und Wasserhaltung.....	27
7	Verwertung / Entsorgung von Aushubmaterial und Bauschutt	28
7.1	Boden	28
7.2	Bauschutt	29
8	Hinweise zu weiteren Erkundungen	30

1. Unterlagenverzeichnis

- U 1 Angebot Nr. 082/21 vom 09. Februar 2021
- U 2 Bestellung 0016/ACX/92295337 vom 22. Februar 2021 und Bestellung
0016/D07/10609927 vom 28. Juli 2021
- U 3 Strecke 2992 Bahn km-133,995 – 134,267, Stützwand Turnerstraße, Nach-
rechnung und Instandsetzungsmöglichkeiten, Erläuterungsbericht, grbv, Inge-
nieure im Bauwesen GmbH & Co. KG Hannover, 24. Juni 2020
- U 4 Bodenproben und Schichtenverzeichnisse der Bohrsondierungen (BS) 1/21
bis 14/21, ausgeführt von der BAUGRUND Stralsund Ingenieurges. mbH, im
Zeitraum vom 15. bis 24. November 2021
- U 5 Ergebnisse der Sondierungen mit der Schweren Rammsonde (DPH) 1/21,
4/21, 6/21, 11/21, 12/21 und 14/21, ausgeführt von der BAUGRUND Stralsund
Ingenieurges. mbH, im Zeitraum vom 15. bis 24. November 2021
- U 6 Ergebnisse der Leichten Rammsondierungen (DPL) 7/21, 9/21 und 10/21,
ausgeführt von der BAUGRUND Stralsund Ingenieurges. mbH, im Zeitraum
vom 15. bis 24. November 2021
- U 7 Vermessungsunterlagen zu den Aufschlüssen unter U 4 bis U 6, ausgeführt
von der BAUGRUND Stralsund Ingenieurges. mbH, im Zeitraum vom 15. bis
24. November 2021
- U 8 Laborprüfbericht Nr. 1 zu bodenphysikalischen Untersuchungen, BAUGRUND
Stralsund Ingenieurgesellschaft mbH, Stralsund, 23. Dezember 2021
- U 9 Prüfberichte Nr. 21-6408-001 bis -003 zur Untersuchung von Wasser, erstellt
von der IUL Vorpommern GmbH am 06. Dezember 2021

- U 10 Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, NLWKN, pegelonline, Abfrage am 23.01.2022

- U 11 Bohrdatenspeicher Niedersachsen, LBEG

- U 12 Stützwand Turnerstraße, Osnabrück, Strecke 2992 Löhne – Rheine, km 133,995 bis 134,267, Gesprächsprotokoll Nr. 1 vom 15. Februar 2022

- U 13 Sanierung/Erneuerung Schwergewichtswand in Osnabrück, Turnerstraße, Allgemeine Baugrundbeurteilung/Bodenkennwerte, Diplom-Ingenieur Egbert Mücke, Ingenieurbüro für Geotechnik, Kiel, 15. Juli 2015

- U 14 Probenahmekonzept und Probenahmeplan zur Abfalltechnischen Voruntersuchung, übergeben vom AG per E-Mail am 02. November 2021

- U 15 Probenbegleitschein als Untersuchungsauftrag an Umweltlabor Kirchmöser, Baugrund Stralsund Ingenieurgesellschaft mbH, 16. Dezember 2021

- U 16 Prüfbericht Nr. 22B001129, DB Engineering & Consulting GmbH, Umweltservice, Brandenburg-Kirchmöser, 20. Januar 2022

- U 17 Stützwand Turnerstraße, Osnabrück, Strecke 2992, Löhne – Rheine, Protokoll 4. Planungsbesprechung vom 28. Februar 2022

- U 18 Tieferführung der BS 10/21 und Ausbau der BS 8/21 als Grundwassermessstelle, BAUGRUND Stralsund Ingenieurgesellschaft mbH, 22. März 2022

2 Anlagenverzeichnis

A 1	1 Blatt	Lage- und Aufschlussplan
A 2	3 Blatt	Bohr- und Sondierprofile
A 3	50 Blatt	Laborprüfbericht Nr. 1, BAUGRUND Stralsund IG mbH
A 4	6 Blatt	Prüfberichte Nr. 21-6408-001 bis -003 (Wasser)
A 5	1 Blatt	Geologischer Längsschnitt
A 6	4 Blatt	Geologischer Querschnitt
A 7	7 Blatt	Prüfbericht Nr. 22B00129

3 Bauvorhaben / Aufgabenstellung

In Osnabrück im Bereich der Turnerstraße verläuft die DB-Strecke 2992 in Dammlage, der Geländesprung im Bereich der Bahn-km 133,995 bis 134,267 hin zur Turnerstraße wird über eine Stützwand abgefangen. Am südöstlichen Ende geht die Stützwand in den Flügel des Brückenwiderlagers über. Am nordwestlichen Ende schließt eine Böschung zur Sicherung des Geländesprunges an. Eine erfolgte Nachrechnung der Wand ergab, dass die äußere Standsicherheit nicht nachgewiesen werden konnte. Darüber hinaus wurden zahlreiche Schäden an der Wand festgestellt. Für diese Stützwand sind Sanierungs- / Ertüchtigungsleistungen geplant. Gemäß U 3 kommen folgende Sanierungsvarianten / -verfahren in Frage:

- aufgelöste Bohrpfahlwand als Vorsatzschale
- Vorsatzschale mit Rückverankerung
- überschnittene Bohrpfahlwand in Lage der Bestandswand
- Bodenverbesserung durch Düsenstrahlarbeiten

Für die Planung der vorgesehenen Sanierungsmaßnahme sind Baugrunderkundungen erforderlich. Die BAUGRUND Stralsund Ingenieurgesellschaft mbH ist mit den Leistungen der Baugrundbegutachtung und Gründungsberatung beauftragt worden. In einer späteren Beauftragung wurden dann auch die Felderkundungen an unser Büro beauftragt.

4 Baugrundverhältnisse

4.1 Geologische Verhältnisse

Das Untersuchungsgebiet befindet sich nordöstlich des heutigen Verlaufes der Hase, die Osnabrück in ostnordöstlicher nach westnordwestlicher Richtung durchquert. Der grundsätzliche heutige Verlauf und die geologischen Karten lassen vermuten, dass der ursprüngliche Verlauf des Gewässers näher am Planungsgebietes lag. Insofern sind hier im oberflächennahen Bereich über holozänen, teilweise organischen Böden des ehemaligen Gewässerverlaufes anthropogene Auffüllungen zu erwarten. Unterhalb dieser Böden stehen in für die Baumaßnahme relevanten Teufenbereichen dann quartäre Sande und Schluffe im Wechsel an.

4.2 Art, Umfang und Lage der Baugrundaufschlüsse

Zur Erkundung der Untergrundverhältnisse waren direkte und indirekte im Stützwand- und dem möglichen Rückverankerungsbereich durchzuführen. In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die vorliegenden Untergrundaufschlüsse zusammengestellt und den einzelnen Baubereichen zugeordnet. Eine Übersicht über die Anordnung der Aufschlüsse und die Zuordnung zu den einzelnen Baumaßnahmen zeigt auch der Lage- und Aufschlussplan in Anlage 1.

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse wurden im Zeitraum vom 15. November bis 24. November 2021 insgesamt vierzehn Kleinbohrungen (BS) nach DIN ISO 22475-1, sechs Rammsondierungen mit der Schweren Rammsonde (DPH) und drei mit der Leichten Rammsonde (DPL) nach DIN EN ISO 22476-2 ausgeführt. Darüber hinaus wurden die Aufschlüsse aus U 13 (Baugrundvoreinschätzung IB Mücke) mit genutzt.

Tabelle 1: Übersicht über die Aufschlussansatzpunkte

Aufschluss	Höhe Ansatzpunkt [m NHN]	Aufschluss-tiefe [m]	Lage	Bemerkungen	Schichtprofile in Anlage
BS 1/21	+60,9	12,0	Stützwand unterhalb Geländesprung Turnerstraße	-	2.1/2.2
DPH 1/21	+60,9	12,5		-	
BS 2/21	+60,9	1,4		Abbruch wegen Betonhindernis	
BS 3/21	+61,1	2,1		Abbruch wegen Betonhindernis	
BS 4/21	+61,37	13,0		Abbruch, kein Bohrfortschritt	
DPH 4/21	+61,37	15,0		-	
BS 5/21	+61,7	13,0		-	
BS 6/21	+62,1	11,0		Abbruch, kein Bohrfortschritt	
DPH 6/21	+62,1	11,2		-	
BS 7/21	+64,5	12,0	Stützwand oberhalb Geländesprung	-	2.1/2.2
DPL 7/21	+64,5	11,0		-	
BS 8/21	+67,3	10,0		-	
BS 9/21	+67,5	8,0		-	
DPL 9/21	+67,5	8,0		-	
BS 10/21	+66,8	8,7		Abbruch, kein Bohrfortschritt	
DPL 10/21	+66,8	10,0		-	
BS 11/21	+66,3	12,0	Verankerungsbereich	-	2.3
DPH 11/21	+66,3	12,0		-	
BS 12/21	+66,5	10,0		-	
DPH 12/21	+66,5	10,0		-	
BS 13/21	+66,5	10,0		-	
BS 14/21	+67,7	10,0		-	
DPH 14/21	+67,7	10,0		-	

4.3 Baugrundsichtung

Nachfolgend wird ein Überblick über die Baugrundsichtung im Baubereich gegeben. Der detaillierte Schichtenaufbau bei den einzelnen Aufschlüssen ist in den Schichtprofilen der Anlage 2 höhengerecht dargestellt. Die als Ergänzung durchgeführten indirekten Aufschlüsse (Rammsondierungen) sind ebenfalls höhengerecht neben den dazugehörigen direkten Aufschlüssen (Bohrsondierungen) aufgetragen. Die dargestellten Rammsondierdiagramme zeigen die über die Sondiertiefe ermittelten Schlagzahlen N_{10} (Schläge je 10 cm Eindringtiefe der Sonde), die kennzeichnend für die Lagerungsdichte der angetroffenen Sande und nichtbindigen Auffüllungen sind.

Nach den Ergebnissen der Untergrunderkundung besteht sowohl der Bahndamm als auch die Geländedeckschicht im Bereich der Turnerstraße überwiegend aus nichtbindigen **Auffüllungen (Schicht 1)**. Die Dammmächtigkeit beträgt ca. 4,0 bis 5,5 m. Der Damm liegt direkt auf weiteren Auffüllungen auf.

Auffüllungen wurden auch im Umfeld des Bahndammes als Geländedeckschicht angetroffen. Insgesamt kann die Aufschüttungsmächtigkeit mit 0,9 m (BS 1/21) bis 8,4 m (BS 5/21) angegeben werden. Die Unterkante dieser Schicht wurde in Höhen von +60,9 m NHN (BS 1/21) bis +53,3 m NHN (BS 4/21) angetroffen.

Unterhalb dieser Böden folgen **Sande (Schicht 2)** bis zur Endteufe der Aufschlüsse, in die in unregelmäßiger Tiefe und Schichtmächtigkeit **Schluffe (Schicht 3)** eingelagert sind. Im oberen Bereich sind die Sande z.T. organisch verunreinigt.

Im Bereich der BS 2/21 und BS 3/21 wurde in einer Tiefe von ca. +59,5 bis +59,7 m NHN ein flächiges Betonhindernis angetroffen, welches trotz mehrfacher Versuche nicht durchteuft werden konnte. Inwieweit es sich hier um einen luftseitigen Wandsporn und/oder andere Teile von Altbebauung handelt, konnte mit den durchgeführten Feldarbeiten nicht abgeklärt werden.

4.4 Art und Umfang der Laboruntersuchungen

Während der Aufschlussarbeiten wurden durchgehend gestörte Bodenproben entnommen. An ausgewählten Proben wurden die nachfolgend aufgeführten Laborversuche durchgeführt:

- Bestimmung der Korngrößenverteilung nach DIN EN ISO 17892-4
- Bestimmung des Wassergehaltes nach DIN EN ISO 17892-1
- Bestimmung des Glühverlustes nach DIN 18 128
- Bestimmung der Zustandsgrenzen nach DIN EN ISO 17892-12

Die detaillierten Ergebnisse der Laborversuche sind im Laborprüfbericht in Anlage 3 zu entnehmen.

Weiterhin wurden nach Vorgabe des Auftraggebers Proben für die chemische Analytik ausgewählt und dem Sanierungsmanagement der DB AG zur weiteren Untersuchung und Bewertung übergeben. Für umwelttechnische Untersuchungen des Bodens wurden hierzu Einzelproben aus den anstehenden Auffüllungen entnommen. Diese wurden nach Vorgabe des AG als Bodenmischproben fachgerecht zusammengestellt und vom o. g. Chemielabor auf den Parameterumfang gemäß der LAGA-TR Boden/Bauschutt sowie z. T. auf Herbizide untersucht. Die Analyseergebnisse im Einzelnen gehen aus dem Prüfbericht /U 16/ der Anlage 7 hervor.

Die zu untersuchenden Mischproben sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Mischproben Boden

Probenbezeichnung	Entnahmestelle	Entnahmetiefe [m u. GOK]
MP-1 (Boden)	BS 7/21	0,0 – 4,5
MP-2 (Boden)	BS 7/21	4,5 – 12,0
MP-3 (Boden)	BS 8/21	0,0 – 7,0
MP-4 (Boden)	BS 9/21	0,0 – 7,5
MP-5 (Boden)	BS 10/21	0,0 – 5,5
MP-6 (Boden)	BS 1/21	0,2 – 0,5
	BS 2/21	0,2 – 1,4
	BS 3/21	0,2 – 1,4
MP-7 (Boden)	BS 4/21	0,2 – 1,0
	BS 5/21	0,2 – 1,0
	BS 6/21	0,2 – 1,0
EP-1 (Stützwandmaterial)	Abklopfprobe	--
EP-2 (Boden)	BS 10/21	5,5 – 6,5

Für hydrochemische Untersuchungen des Grundwassers wurden Wasserproben aus den Aufschlüssen BS 1/21, BS 5/21 und BS 6/21 entnommen und hinsichtlich stahl- und beton-aggressiver Inhaltsstoffe gemäß DIN 50929, Teil 3, und 4030 untersucht. Die Ergebnisse können dem Prüfbericht der Anlage 4 entnommen werden. Dem Prüfbericht können weiterhin die für die jeweiligen Einzelanalysen angewendeten Einheitsverfahren entnommen werden.

4.5 Baugrundeigenschaften / Baugrundklassifizierung

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen in Verbindung mit den Ergebnissen der Feldansprache und den Felduntersuchungen sind für die einzelnen Schichten des Baugrundes nachstehend zusammengefasst.

Schicht 1 Auffüllungen [SE, SU, A] / [OH, HZ, SU-ST*]*

Die Auffüllungen bestehen überwiegend aus Mittel- und Feinsanden mit grobsandigen, kiesigen und schluffigen Beimengungen, aber auch Kiesen sowie lokal (BS 11/21) aus umgelagerten gemischtkörnigen/bindigen Böden. Organische Verunreinigungen bis hin zu Torfstreifen wurden angetroffen. An Einzelproben der Auffüllungen wurden organische Anteile von 0,5 % bis 8,5 % ermittelt. Als Fremdbestandteile wurden Schotter-, Ziegel- und Betonreste sowie Schlacke erbohrt.

Die Auffüllungen sind im Ergebnis der Rammsondierungen locker bzw. mitteldicht gelagert. Lokal, insbesondere in Geländenähe im Bereich von Verkehrsflächen, kann auch eine mitteldichte bis dichte Lagerung vorherrschen. Ebenfalls wurden Bereiche mit nur einer sehr lockeren Lagerung erkundet.

Die Ergebnisse der Bestimmungen der Korngrößenverteilung und der daraus resultierenden Durchlässigkeitsbeiwerte sowie der organischen Anteile sind in Tabelle 3 einzusehen.

Tabelle 3: Ergebnisse der Bestimmungen der Korngrößenverteilung für Schicht 1

Aufschluss	Entnahme- tiefe	Massenanteile [%]					C _u [--]	C _c [--]	V _{gl} %	k ¹⁾ [m/s]
		T / U	fS	mS	gS	G				
BS 4/21	2,0 – 2,8	23,4	46,6	28,0	2,0	--	27,0	7,1	2,1	3,2*10 ⁻⁶
BS 4/21	2,8 – 3,7	0,6	19,4	77,0	2,8	0,2	2,3	1,0	0,5	2,3*10 ⁻⁴
BS 4/21	3,7 – 4,3	36,1	48,9	14,0	1,0	--	15,6	2,3	8,5	9,5*10 ⁻⁷
BS 5/21	3,0 – 4,0	13,3	56,7	21,0	8,0	1,0	--	--	--	1,2*10 ⁻⁵
BS 5/21	7,3 – 8,4	13,1	10,9	17,0	9,1	49,9	--	--	--	5,4*10 ⁻⁵
BS 6/21	4,0 – 5,0	5,7	25,3	34,0	8,1	27,0	4,5	0,7	2,2	1,1*10 ⁻⁴
BS 8/21	3,0 – 4,0	9,4	16,6	24,0	12,0	37,7	22,2	0,5	4,3	3,0*10 ⁻⁵
BS 8/21	6,0 – 7,0	13,1	19,9	23,0	11,4	32,7	--	--	5,5	3,1*10 ⁻⁵
BS 9/21	2,0 – 3,0	5,8	6,2	23,0	15,6	49,2	24,6	0,3	7,9	1,7*10 ⁻⁴
BS 9/21	5,0 – 7,5	14,2	16,8	22,0	12,6	34,4	--	--	3,9	2,9*10 ⁻⁵
BS 10/21	4,0 – 4,7	8,7	24,3	37,0	10,5	19,5	5,5	1,0	--	5,1*10 ⁻⁵
BS 10/21	4,7 – 5,5	9,4	4,6	6,0	12,6	66,4	140,6	3,4	--	3,4*10 ⁻⁵
BS 10/21	6,5 – 8,0	16,8	25,3	29,0	7,3	27,7	61,1	5,6	5,1	1,3*10 ⁻⁵
BS 11/21	2,0 – 3,0	10,9	13,1	19,0	12,4	44,6	--	--	--	5,1*10 ⁻⁵
BS 12/21	1,0 – 2,0	16,3	26,7	35,0	10,2	11,7	--	--	--	1,3*10 ⁵
BS 12/21	5,0 - 6,0	11,4	32,6	40,0	11,0	5,1	--	--	2,3	2,9*10 ⁻⁵
BS 13/21	3,0 – 4,0	25,6	10,4	11,0	13,3	39,7	473,8	1,4	--	5,4*10 ⁻⁷
BS 14/21	2,1 – 3,0	22,8	19,2	12,0	10,7	35,3	--	--	2,1	--
BS 14/21	5,0 – 6,2	16,7	27,3	28,0	11,1	17,0	--	--	--	1,2*10 ⁵

¹⁾ aus der Kornverteilung

Schicht 2 Fein- und Mittelsand SE / SU / SU / OH*

Direkt unterhalb der Auffüllungen stehen Sande an, die im oberen Bereich z.T. organisch verunreinigt sind. Häufig wurden eingelagerte Schluffstreifen angetroffen. Die Sande bestehen aus Feinsand und Mittelsand mit mittelsandigen bzw. feinsandigen und unterschiedlichen schluffigen Anteilen und werden je nach Schluffgehalt den Bodengruppen SE, SU bzw. SU* nach DIN 18196 zugeordnet. Bei erhöhten organischen Anteilen erfolgt die Zuordnung zur Bodengruppe OH.

Die Ergebnisse der Bestimmungen der Korngrößenverteilung sowie des organischen Anteils an Proben aus Schicht 2 sind in Tabelle 4 einzusehen.

Tabelle 4: Ergebnisse der Bestimmungen der Korngrößenverteilung für Schicht 2

Aufschluss	Entnahme- tiefe	Massenanteile [%]					C _u [--]	C _c [--]	V _{gl} %	k ¹⁾ [m/s]
		T / U	fS	mS	gS	G				
BS 1/21	2,0 – 3,0	3,2	17,8	73,0	5,9	0,1	2,5	1,1	0,5	2,1*10 ⁻⁴
BS 1/21	3,3 – 4,0	0,8	5,2	84,0	9,3	0,7	1,9	0,9	--	5,1*10 ⁻⁴
BS 1/21	4,8 – 6,0	26,5	20,5	48,0	3,8	1,2	--	--	--	--
BS 1/21	7,0 - 8,0	22,2	15,8	50,0	8,6	3,4	--	--	--	--
BS 4/21	6,0 – 7,2	12,5	15,5	66,0	5,4	0,6	--	--	--	4,6*10 ⁻⁵
BS 4/21	10,5 – 11,5	19,1	22,9	54,0	3,8	0,1	--	--	--	1,1*10 ⁻⁵
BS 5/21	10,0 – 11,0	16,6	21,4	56,0	4,8	1,2	--	--	--	2,0*10 ⁻⁵
BS 7/21	5,5 – 6,5	4,0	18,0	76,0	2,0	--	2,5	1,1	--	1,9*10 ⁻⁴
BS 7/21	6,5 – 7,5	1,5	23,5	73,0	1,9	0,1	2,4	1,0	1,2	1,9*10 ⁻⁴
BS 7/21	10,0 – 11,0	26,1	21,9	48,0	3,6	0,4	--	--	--	--
BS 8/21	7,0 – 8,0	11,6	38,4	46,0	3,3	0,7	--	--	--	2,2*10 ⁻⁵
BS 9/21	7,5 – 8,0	5,6	23,4	60,0	6,2	4,9	2,9	1,0	--	1,4*10 ⁻⁴
BS 11/21	5,2 – 6,3	19,2	48,8	29,0	2,4	0,6	11,5	3,4	--	6,6*10 ⁻⁶
BS 11/21	6,3 – 7,5	14,1	41,9	40,0	1,7	2,3	--	--	--	1,5*10 ⁻⁵
BS 11/21	9,5 – 11,0	5,4	25,6	58,0	5,7	5,3	2,8	0,9	0,8	1,5*10 ⁻⁴
BS 12/21	8,0 - 9,0	3,4	46,6	48,0	1,8	0,2	1,9	0,9	--	1,6*10 ⁻⁴
BS 13/21	6,0 – 7,0	0,0	30,0	64,0	5,5	0,5	2,3	0,8	0,3	2,0*10 ⁻⁴
BS 13/21	7,0 – 8,5	17,6	32,4	45,0	3,8	1,2	--	--	--	1,1*10 ⁻⁵
BS 14/21	7,0 – 8,0	17,3	29,7	25,0	9,6	18,4	--	--	--	9,0*10 ⁻⁶
BS 14/21	8,0 – 9,0	37,4	25,6	27,0	3,6	6,4	--	--	--	--

¹⁾ aus der Kornverteilung

Die Lagerungsdichte der Schicht 2 ist im oberen Bereich zunächst locker. In tieferen Bereichen geht diese dann in eine mitteldichte Lagerung über. Bereichsweise wurde auch eine dichte Lagerung in tieferen Bereichen angetroffen, ebenso auch lockere Bereiche in größeren Tiefen.

Schicht 3 Schluffe UL, ST*, TL

In die Sande sind lokal Schluffschichten eingelagert. Bei diesen Böden handelt es sich um sandige bis stark sandige Schluffe, größtenteils mit schwach tonigen Beimengungen, die gemäß DIN 18196 den Bodenarten UL und SU zugeordnet werden. Zum Teil sind auch kieselige Komponenten in den Schluffen enthalten. Die Schluffe besitzen eine weiche und weiche bis steife Konsistenz bzw. bei starken Sandgehalten liegt eine mitteldichte Lagerung vor.

Die Ergebnisse der Bestimmungen der Korngrößenverteilung an Proben aus Schicht 3 sind in Tabelle 5 einzusehen.

Tabelle 5: Ergebnisse der Bestimmungen der Korngrößenverteilung für Schicht 3

Aufschluss	Probertiefe [m u. GOK]	Massenanteile [%]				C _u [--]	C _c [--]	k ¹⁾ m/s
		T	U	S	G			
BS 1/21	8,8 - 10,0	5,2	62,8	32,0	--	8,3	3,3	8,3*10 ⁻⁷
BS 4/21	8,0 - 9,0	9,8	50,6	39,6	--	25,9	4,2	1,4*10 ⁻⁷
BS 6/21	5,5 - 6,5	44,0		56,0	--	--	--	--
BS 6/21	7,2 - 8,2	10,0	32,5	24,1	33,3	413,0	0,1	3,8*10 ⁻⁸
BS 6/21	8,8 - 10,0	8,8	29,0	28,4	33,8	286,4	0,2	6,8*10 ⁻⁸

¹⁾ aus der Kornverteilung

Tabelle 6: Ergebnisse der Bestimmungen der Wassergehalte und Zustandsgrenzen für Schicht 3

Aufschluss	Tiefe [m u. GOK]	w [%]	w _L [%]	w _P [%]	I _P [%]	I _C [--]
BS 1/21	8,8 - 10,0	22,0	--	--	--	--
BS 4/21	8,0 - 9,0	17,1	21,1	15,1	5,96	0,67
BS 6/21	8,2 - 8,8	16,2	--	--	--	--

4.6 Wasserverhältnisse und Wassereigenschaften

Die anstehenden nichtbindigen Auffüllungen (Schicht 1) und die anstehenden Sande (Schicht 2) bilden einen zusammenhängenden oberen Grundwasserleiter. Da die geringleitenden Schluffe (Schicht 3) nicht flächig ausgebildet sind, stellen diese keinen durchgehenden hydraulisch wirksamen Grundwassergeringleiter dar. Der Wasserstand in dem oberen Grundwasserleitern im Planungsgebiet wird vermutlich beeinflusst von dem Wasserstand in der Hase.

Während der Aufschlussarbeiten wurden die in Tabelle 7 aufgeführten Wasserstände gemessen. Darüber hinaus sind Messwerte aus Altaufschlüssen vorhanden /U 11/

Tabelle 7: Während der Aufschlussarbeiten gemessene Wasserspiegellagen

Aufschluss	Wasserstand Bohrende [m u. GOK]	Wasserstand Bohrende [m NHN]
BS 1/21	1,80	+59,07
BS 2/21	--	--
BS 3/21	--	--
BS 4/21	2,00	+59,37
BS 5/21	2,60	+59,12
BS 6/21	2,70	+59,46
BS 7/21	9,60	+54,88
BS 8/21	6,60	+60,68
BS 9/21	--	--
BS 10/21	7,50	+59,27
BS 11/21	9,00	+57,28
BS 12/21	7,10	+59,36
BS 13/21	8,50	+58,04
BS 14/21	9,70	+57,99
H 221 /U 11/	4,76	+58,71
B 178 /U 11/	7,60	+55,20
SB 5 / 271 /U 11/	1,30	+58,85

Bei sämtlichen gemessenen Wasserständen müsste es sich um freie ausgepegelte Grundwasserspiegel handeln. Sowohl in den aktuellen Erkundungen als auch im Vergleich mit den Wasserständen aus Alterkundungen (U 11) ergibt sich kein einheitliches Bild hinsichtlich der Wasserstände bzw. der Fließrichtung. Es ist nach den derzeitigen Messergebnissen jedoch davon auszugehen, dass sich hinter der Stützwand kein bemessungsrelevanter Grundwasseraufstau nachweisen lässt.

In der Hase gibt es im weiteren Umfeld des Planungsgebietes zwei Messpegel (Lüstringen, Eversburg). Das Planungsgebiet befindet sich etwa mittig zwischen beiden Pegeln. Die Wasserstandshauptzahlen beider Pegel sind im Folgenden zusammengestellt:

Pegel Lüstringen

Wasserstandshauptwerte für den Zeitraum von 2008 bis 2017

niedrigster Wasserstand:	72 cm / NN +65,25 m
mittlerer Niedrigwasserstand:	75 cm / NN +65,28 m
mittlerer Wasserstand:	94 cm / NN +65,47 m
mittlerer Hochwasserstand:	199 cm / NN +66,52 m
höchster Wasserstand:	287 cm / NN +67,40 m

Extremwerte für den Zeitraum von 1963 bis 2017

Hochwasser 16.01.1968:	247 cm / NN +67,00 m
Hochwasser 31.12.1986:	246 cm / NN +66,99 m
Hochwasser 28.08.2010:	287 cm / NN +67,40 m

Pegel Eversburg

Wasserstandshauptwerte für den Zeitraum von 2008 bis 2017

niedrigster Wasserstand:	21 cm / NN +54,24 m
mittlerer Niedrigwasserstand:	27 cm / NN +54,30 m
mittlerer Wasserstand:	51 cm / NN +54,54 m
mittlerer Hochwasserstand:	216 cm / NN +56,19 m
höchster Wasserstand:	305 cm / NN +57,08 m

Extremwerte für den Zeitraum von 1951 bis 2017

Hochwasser 23.02.1970:	302 cm / NN +57,05 m
Hochwasser 04.08.2008:	277 cm / NN +56,80 m
Hochwasser 27.08.2010:	305 cm / NN +57,08 m

Die Ergebnisse der durchgeführten Wasseruntersuchungen hinsichtlich stahl- und betonaggressiver Inhaltsstoffe nach DIN 4030 und DIN 50929-3 sind in den Tabellen 8 und 9 zusammengefasst. Einzelheiten zu den Untersuchungsergebnissen und ergänzende Hinweise können den Laborprüfberichten in Anlage 4 entnommen werden.

Tabelle 8: Ergebnisse der Grundwasseranalysen nach DIN 4030 (Betonaggressivität)

	pH-Wert [--]	Kalklösende Kohlensäure [mg/l]	Ammonium [mg/l]	Magnesium [mg/l]	Sulfat [mg/l]	Angriffsgrad
Grenzwerte nach DIN 4030	6,5 - 5,5	15 - 40	15 - 30	300 - 1000	200 - 600	schwach angreifend
	<5,5 - 4,5	>40 - 100	>30 - 60	>1000 - 3000	>600 - 3000	stark angreifend
	<4,5	>100	>60	> 3000	>3000	sehr stark angreifend
BS 1/21	7,4	nicht vor- handen	0,73	6,1	25	nicht angreifend
BS 5/21	7,3	nicht vor- handen	0,79	13,6	49	nicht angreifend
BS 6/21	7,3	nicht vor- handen	1,0	17,2	47	nicht angreifend

Tabelle 9: Ergebnisse der Grundwasseranalysen nach DIN 50929-3 (Stahlaggressivität)

	Korrosionswahrscheinlichkeit für unlegierte und niedriglegierte Stähle			
	Mulden- und Lochkorrosion		Flächenkorrosion	
	Unterwasser- bereich	Wasser-Luft- Bereich	Unterwasser- bereich	Wasser-Luft- Bereich
BS 1/21	gering	gering	sehr gering	sehr gering
BS 5/21	sehr gering	sehr gering	sehr gering	sehr gering
BS 6/21	gering	gering	sehr gering	sehr gering

Böden mit hohen Anteilen an organischer Bodensubstanz, die eine mikrobiell induzierte Korrosion hervorrufen, wurden im Zuge der Baugrunderkundungen nicht angetroffen.

5 Berechnungskennwerte / Berechnungsprofile / Bodenklassifikation

5.1 Charakteristische Bodenkennwerte

Für erdstatische Berechnungen sind charakteristische Kennwerte der Bodenschichten in den nachfolgenden Tabellen angegeben. Die angegebenen Schichtnummern sind in Anlage 2 neben den Schichtprofilen ersichtlich.

Tabelle 10: Charakteristische Bodenkennwerte

Schicht	Bodenart	Bodengruppe	Lagerung/ Konsistenz	γ_k [kN/m ³]	γ'_k [kN/m ³]	ϕ'_k [°]	c'_k [kN/m ²]	$c_{u,k}^{1)}$ [kN/m ²]	$E_{s,k}$ [MN/m ²]
1a	Auffüllung/ Damm	[SE,SU,A] [OH,HZ,SU*- ST*]	sehr locker	16,5	9,0	26	0	--	5
1b			locker	17,0	9,5	28	0	--	15
1c			mitteldicht	17,5	10,0	30	0	--	20
1d			mitteldicht - dicht	18,0	10,5	32	0	--	35
2a	Fein- und Mittelsand	SE / SU/ SU*/OH	locker	17,5	9,0	28	0	--	15
2b			mitteldicht	18,0	9,5	30	0	--	25
2c			mitteldicht bis dicht	18,5	10,5	32	0	--	35
2d			dicht	19,0	10,5	33	0	--	45
3	Schluff	UL, TL, ST*	weich, weich bis steif, mitteldicht	20,5	10,0	27	6	>50	20

¹⁾ undränierte Scherfestigkeit, zu verwenden unter Ansatz von ϕ_u

Für die Vorbemessung von Pfahlgründungen als Sanierungselement sind die Bemessungsprofile und die charakteristischen Bodenkennwerte in der Tabelle 11 angegeben. Der Tragfähigkeitsnachweis ist gemäß DIN 1054 in Verbindung mit dem EC 7.1 durch Probebelastungen zu erbringen. Die Hinweise in Abschnitt 6 sind zu beachten.

Für den Einzelpfahl kann die Bettung auf der Grundlage der angegebenen Steifezahlen in Abhängigkeit vom Pfahldurchmesser ermittelt werden ($k_{s,k} = E_{s,k} / D$). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass insbesondere am Pfahlkopf die Größenordnung des mobilisierbaren Erdwiderstandes mit dem Bettungswert nicht überschritten wird. Die Anwendung des Bettungsmoduls setzt einen ausreichenden Abstand vom Bruchzustand des Bodens voraus. Aufgrund dessen, sollten die Bettungsspannungen von der Geländeoberfläche an mit der Tiefe nicht stärker zunehmen als der Erdwiderstand.

Für den Ansatz des Spitzendruckes ist eine ausreichende Mächtigkeit des tragfähigen Untergrundes unterhalb des Pfahlfußes, gemäß der DIN EN 1997, Absatz 7.6.2.1 von vier Pfahlfußdurchmessern, erforderlich. Werden die Werte unterschritten, ist ein Nachweis gegen Durchstanzen zu führen.

Tabelle 11: Charakteristische Kennwerte Bohrpfahlgründung

Schicht	Bodenart	Bodengruppe	Lagerung/ Konsistenz	q_{sk} [kN/m ²]	q_{bk} [kN/m ²]			$k_{s,k}$ – Pfähle ¹⁾ [MN/m ³]
					s/D = 0,02	s/D = 0,03	s/D = 0,10=S _g	
1a	Auffüllung/ Damm	[SE,SU,A] [OH,HZ,SU*- ST*]	sehr locker	15	--	--	--	15,0
1b			locker	30	--	--	--	15,0
1c			mitteldicht	40	--	--	--	28,0
1d			mitteldicht - dicht	50	--	--	--	45,0
2a	Fein- und Mittelsand	SE / SU/ SU*/OH	locker	30	--	--	--	15,0
2b			mitteldicht	50	600	800	1.500	28,0
2c			mitteldicht - dicht	70	700	1.000	2.500	40,0
2d			dicht	110	1.100	1.400	3.200	50,0
3	Schluff	UL, T*, TL	weich, weich - steif, mittel- dicht	30	350	450	800	22,0

¹⁾ bezogen auf einen Pfahldurchmesser 0,88 m (U 3)

Für eventuelle Verbauarbeiten und Rückverankerungen sind die Berechnungskennwerte in den nachfolgenden Tabellen 12 und 13 enthalten.

Tabelle 12: Charakteristische Kennwerte Spundwandbemessung EAB

Schicht	Bodenart	Bodengruppe	Lagerung/ Konsistenz	$q_{s,k}$ [kN/m ²]	$q_{b,k}$ [kN/m ²]
1a	Auffüllung / Damm	[SE,SU,A] [OH,HZ,SU*-ST*]	sehr locker	--	--
1b			locker	15	--
1c			mitteldicht	30	--
1d			mitteldicht - dicht	40	--
2a	Fein- und Mittelsand	SE / SU/ SU*/OH	locker	15	--
2b			mitteldicht	20	5.000
2c			mitteldicht - dicht	30	9.000
2d			dicht	60	18.000
3	Schluff	UL, ST*, TL	weich, weich - steif, mittel- dicht	20	1.000

**Tabelle 13: Charakteristische Widerstände für Verpressanker und Verpresspfähle
(Beanspruchung auf Zug)**

Nr.	Bodenart	Lagerungsdichte / Konsistenz	mittlere Mantelreibung $q_{s,k}$ [kN/m ²]	
			Verpressanker ⁴⁾	Verpresspfähle
1a	Auffüllung / Damm	sehr locker	--	--
		locker	40 ²⁾	35 ²⁾
1b			50 ³⁾	40 ³⁾
1c		mitteldicht	100	80
1d		mitteldicht bis dicht	130	120
2a	Fein- und Mittelsand	locker	90	80
2b		mitteldicht	120	100
2c		mitteldicht bis dicht	140	125
2d		dicht	160	150
3	Schluff	weich, weich bis steif, mitteldicht	80 ¹⁾	65 ¹⁾

¹⁾ Bei einer Nachverpressung kann der Wert um 30 % erhöht werden.

²⁾ ab 2,0 m unter jeweiliger GOK

³⁾ ab 4,0 m unter jeweiliger GOK

⁴⁾ Werte gelten für einen Durchmesser von 150 mm und Verpresslänge bis zu 6 m

5.2 Auffüllungen / Hinterfüllungen

Als Erdstoffe für ggf. notwendige Auffüllungen / Hinterfüllungen / Baugrundersatz können sowohl grobkörnige als auch gemischtkörnige Erdstoffe verwendet werden. In Bereichen mit hohen Verdichtungsanforderungen (z.B. für ein Gründungspolster) wird die Verwendung von grobkörnigen Erdstoffen mit einem Ungleichförmigkeitsgrad $C_u \geq 3$ empfohlen. Für grob- und gemischtkörnige Erdstoffe können für eine Vorbemessung die in Tabelle 14 genannten charakteristischen Bodenkennwerte in Ansatz gebracht werden.

Tabelle 14: Charakteristische Kennwerte für Ersatzerdstoffe

Bodengruppe DIN 18196	Verdichtung	γ_k [kN/m ³]	γ'_k [kN/m ³]	φ_k' [°]	c_k' [kN/m ²]	$E_{s,k}$ [MN/m ²]
grobkörnige Erdstoffe: GE, GI, GW, SE, SI, SW	$D_{PR} \geq 98 \%$	17,5	9,5	30	0	25
grobkörnige Erdstoffe: GE, GI, GW, SE, SI, SW	$D_{PR} \geq 100 \%$	18,0	10,0	32	0	40
gemischtkörnige Erdstoffe: GU, GT, SU, ST, GU*, GT*, SU*, ST*	$D_{PR} \geq 97 \%$	20,0	10,0	28	5	20

Im Rahmen der Ausführung ist für die verwendeten Erdstoffe nachzuweisen, dass diese den o. g. Kennwerten entsprechen. Ist dies nicht der Fall, so ist die Ausführungsplanung / Ausführungsstatik entsprechend den geänderten Kennwerten anzupassen.

Das Material ist lagenweise einzubauen und anforderungsgemäß zu verdichten. Die beim Aushub gewonnenen Sande können zur Hinterfüllung ($D_{Pr} \geq 100 \%$) genutzt werden.

Oberhalb des Wasserspiegels ist ein ausreichender Verdichtungsgrad durch Verdichtungsprüfungen nach DIN 18 125 nachzuweisen. Unterhalb des Wasserspiegels ist der Nachweis einer ausreichenden Lagerungsdichte mittels Druck- oder Rammsondierungen nach DIN EN ISO 22476-2 und -3 zu erbringen.

5.3 Bemessungswasserstände

Die Bemessungswasserstände wurden auf Grundlage der Wasserstandshauptzahlen der Hase ermittelt. Als Bemessungswasserstand außerhalb des Bahndammes wird den Endzustand eine Höhe von +61,5 m NHN (Hasehochwasser) empfohlen. Dieser sollte auch für die statischen Bemessungen angesetzt werden. Für Bauzustände kann ein Wasserstand von +59,5 m NHN angesetzt werden.

Während der Erkundungsarbeiten wurden keine auffällig erhöhten Grundwasserstände innerhalb des Dammes festgestellt. Mit den zusätzlichen Erkundungen (Ausbau einer Grundwassermessstelle, U 18) konnten diese Eindrücke bestätigt werden. Die Daten werden zukünftig permanent erfasst. Es ist jedoch bereits jetzt davon auszugehen, dass sich kein bemessungsrelevanter Wasserdruck hinter der Stützwand aufbaut.

5.4 Homogenbereiche

Für die Planung, Ausschreibung und Ausführung der geplanten Arbeiten werden die erkundeten Erdstoffe nachfolgend in Homogenbereiche eingeteilt, die für folgende DIN gelten:

- DIN 18300 Erdarbeiten
- DIN 18301 Bohrarbeiten
- DIN 18304 Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten

Die Einteilung in Homogenbereiche erfolgte für die drei vorgenannten Gewerkenormen einheitlich. Des Weiteren ist die Klassifikation hinsichtlich der Frostepfindlichkeit nach ZTV E-StB angegeben.

Tabelle 15: Homogenbereiche nach VOB/C

Homogenbereich	A	B	C	D
Bodenschichten Nr.	1a, 1b, 2a	1c, 1d, 2b, 2c	2d	3
Bezeichnung	Auffüllungen, Sande		Sande	Schluff
Bodengruppe DIN 18196	[SE, SU, A], [OH, HZ, SU*ST*], SE, SU, SU*, OH		SE, SU, SU*	UL, ST*, TL
Frostempfindlichkeit ZTV E-StB	F1 – F3	F1 - F3	F1 - F3	F3
Feinkornanteil / d < 0,006 mm	0 ... 37 %			35...70 %
Sandanteil / d = 0,063...2,0 mm	72...99 %			24... 56 %
Kiesanteil / d = 2,0...63 mm	0...67 %			0...5 (33) %
Steine / d = 63...200 mm	< 5 %			nicht enthalten
Blöcke / d = 200...630 mm	1)			nicht enthalten
Große Blöcke / d > 630 mm	nicht enthalten			
Durchlässigkeit (k)	5*10 ⁻⁷ ...4*10 ⁻⁴ m/s			3*10 ⁻⁸ ...9*10 ⁻⁷ m/s
Abrasivität	normal bis stark abrasiv			schwach bis normal abrasiv
Organischer Anteil	≤ 9 %			< 6 %
Feuchtdichte	1,7...2,0 g/cm ³	1,8...2,1 g/cm ³		
Undränierete Scherfestigkeit	--	--		20...70 kN/m ²
Wassergehalt	--	--	--	16...22 %
Plastizität	--	--	--	gering
Konsistenz	--	--		weich - steif I _c = 0,40...0,80
Lagerungsdichte	sehr locker - locker I _D < 0,35	mitteldicht - dicht I _D = 0,35...0,85	mindestens dicht I _D > 0,65	

¹⁾ in der Auffüllung können Fremdstoffe in verschiedensten Größen enthalten sein

6 Gründungstechnische Folgerungen, Empfehlungen und Hinweise

6.1 Allgemeine Hinweise zur Planung und Bemessung

Das Bestandsbauwerk ist nach den Archivunterlagen eine flachgegründete Schweregemauermauer. Die Gründungstiefe befindet sich nach U 3 mindestens 0,8 m unter dem Gelände der Turnerstraße und wurde mit 2,4 m unter OK Straße abgeschätzt. Danach ist davon auszugehen, dass die Gründung der Stützwand überwiegend in den mindestens mitteldichten Sanden erfolgte.

Für die Nachrechnung der Stützwand sowie für die Bemessung der Sanierungsvarianten wird empfohlen, den erhöhten aktiven Erddruck mit $E^* = (E_a + E_0)/2$ mit dem Erddruckbeiwert K_{ah} für den Wandreibungswinkel $\delta_a = +2/3 \varphi'$ anzusetzen. Der Erdwiderstand ist entsprechend dem Erdwiderstandsbeiwert K_{ph} für einen Wandreibungswinkel $\delta_p = -2/3 \varphi'$ anzusetzen.

Die Standsicherheit der Stützwand ist hinsichtlich Gleitens und Kippen nach DIN 1054 rechnerisch nachzuweisen. Für den Nachweis der Standsicherheit der Wand gegen Gleiten und Kippen kann der aktive Erddruck E_a mit einem Wandreibungswinkel $\delta_a = 2/3 \varphi'$ angesetzt werden. Hinsichtlich des anzusetzenden Gleitwiderstandes ist der charakteristische Wert für den Sohlreibungswinkel ($\delta_{s,k}$) u. a. von der Art der Konstruktion der Stützwand nach DIN 1054 anzusetzen. Ferner ist die Grundbruchsicherheit für außermittigen und schrägen Lastangriff nach DIN 4017 und die Geländebruchsicherheit nach DIN 4084 rechnerisch nachzuweisen. Für alle Standsicherheitsnachweise ist die Bemessungssituation BS-P nach DIN 1054 zu berücksichtigen. Die Sanierungsmaßnahmen werden überwiegend im Druckbereich von Bahnlasten ausgeführt und sind entsprechend zu betrachten.

Für die Bemessung eventueller Rückverankerungen sind die in 5.1 und 5.3 angegebenen Bodenkennwerte und Bemessungswasserstände in Verbindung anzusetzen. Die Schichtzuordnungen können hier den Querschnitten in Anlage 6 entnommen werden.

Der Tragfähigkeitsnachweis von Rückverankerungen ist gemäß EC 7 / DIN 1054 durch Pfahlprobelbelastungen bzw. Ankerprüfungen zu erbringen. Bei Verpressankern sind gemäß EC 7 / DIN 1054 Eignungsprüfungen an mindestens 3 ausgewählten Bauwerksankern und Abnahmeprüfungen an jedem Bauwerksanker auszuführen. Bei Verpresspfählen erfolgt der Tragfähigkeitsnachweis hingegen über statische Pfahlprobelbelastungen an gesondert hergestellten Probepfählen. Die Anzahl der notwendigen Probelbelastungen beträgt bei verpressten Mikropfählen 3 % der insgesamt herzustellenden Pfähle. Die statischen Probebelastungen sollen vor Herstellung der Bauwerkspfähle ausgeführt werden, um die Pfahlbemessung bzw. die Herstelltechnologie im Bedarfsfall noch anpassen zu können.

Bei zu erwartenden dynamischen und zyklischen Einwirkungen z.B. auf Pfähle muss mit einem veränderten Pfahltragverhalten gegenüber den statischen Einwirkungen gerechnet werden. Dieses Verhalten ist bei der Berechnung und Bemessung in Abhängigkeit der zu erwartenden Einwirkung entsprechend EA-Pfähle zu berücksichtigen. Überschreitet die zyklische Lastspanne den charakteristischen statischen Pfahlwiderstand im Grenzzustand der Tragfähigkeit um mehr als 20 % ist die zyklische Belastung bei den Nachweisen der Gebrauchstauglichkeit und Tragfähigkeit von Pfählen zu berücksichtigen.

6.2 Aufgelöste Bohrpfahlwand als Vorsatzschale

Die vorgesehene Variante ist bei den angetroffenen Baugrundverhältnissen grundsätzlich anwendbar. Für eine Vorbemessung der Bohrpfahlwand können die Kennwerte für Bohrpfähle (Abschnitt 5.1) in Ansatz gebracht werden. Die endgültige Festlegung der Pfahldurchmesser und -längen sowie daraus resultierende Spitzenordinaten muss auf der Grundlage der auftretenden Lasten vorgenommen werden. Ggfs. können Pfahllängen ermittelt werden, die durch die derzeitigen Erkundungen nicht abgedeckt sind. In diesem Fall sind ergänzende tiefere Baugrundaufschlüsse, die dann mit großem Bohrgerät ausgeführt werden müssen, durchzuführen.

Weiterhin ist entsprechend EA-Pfähle; Kapitel 4.7.2 „Gründungspfähle an Geländesprüngen“ der Nachweis ggfs. zu führen.

Bei einer Entscheidung für diese Variante ist die Situation vor der bestehenden Wand hinsichtlich eventueller Bauwerksreste bzw. einem luftseitigen Wandsporn zu klären.

Insbesondere unter den Bedingungen hoher Wasserstände sind bei einigen Pfahlarten zusätzliche Leistungen zur Qualitätssicherung durchzuführen und zu vergüten.

Für Bohrpfähle sind die Hinweise und Empfehlungen der DIN EN 1536 zu beachten, für Verdrängungspfähle gilt die DIN EN 12699. Das Bohren hat mit geeignetem Werkzeug für die anstehenden, beschriebenen Untergrundverhältnisse zu erfolgen. Es sind Bohrwerkzeuge mit vorausseilender Verrohrung einzusetzen. Vor dem Betonieren ist genügend Zeit zur Sedimentation von Schwebstoffen einzuplanen. Alternativ kann das Auflastwasser ausgetauscht werden.

6.3 Sanierung mit rückverankerter Vorsatzschale

Es wird empfohlen, die Vorsatzschale flach vor der Bestandswand zu gründen, um nicht zusätzliche Vertikalkräfte einzutragen. Für eine verformungsarme Flachgründung der Vorsatzschale wird empfohlen, die in Gründungssohle vorhandenen Auffüllungen vollständig oder bis rd. 1 m Tiefe unter geplanter UK Vorsatzschale unter Berücksichtigung eines seitlichen Lastausbreitungswinkels von 45° abzutragen und ein Gründungspolster aus lagenweise ($d \leq 30 \text{ cm}$) verdichtet eingebautem Sand/Kies bzw. Kiessand (SE, SW, SI bzw. GE, GW, GI nach DIN 18196) herzustellen. Anstehende Sande sind nachzuverdichten. In diesem Bauzustand wird die Standsicherheit der Bestandswand herabgesetzt. Die entsprechenden Nachweise sind zu führen.

Für eine Rückverankerung der Vorsatzschale sind die anstehenden mindestens mitteldicht gelagerten Böden geeignet. Für die Bemessung der Rückverankerung gelten die Hinweise unter 6.1.

6.4 Ersatz der Bestandswand durch überschnittene Bohrpfahlwand

Für diese Variante gelten aus geotechnischer Sicht zunächst die Hinweise unter 6.2. Die bereits in U 3 genannten Hinweise zur Herstellung der Pfähle sind zu beachten. Die ausreichende Tragfähigkeit der Bestandswand ist auch für den Bauzustand der Herstellung der Pfähle mit auf dem Damm stehendem Bohrgerät für das Ziehen der Verrohrung nachzuweisen.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass im Bereich der Bestandswand die Bodenverhältnisse bis mindestens Unterkante der Wand gestört sind.

6.5 Bodenverbesserung durch Düsenstrahlverfahren

Bei diesem Verfahren soll der anstehende Baugrund so verfestigt werden, dass ein überwiegend vertikaler Lastabtrag erfolgt und somit die Wandbelastung minimiert wird. Grundsätzlich ist auch diese Variante möglich. Auch hier sind die Standsicherheitsnachweise der Bestandswand für alle Bauzustände zu führen.

6.6 Hinweise zu Baugruben und Wasserhaltung

Bei Erdarbeiten, z.B. zur Gründung der Vorsatzschale sind Baugruben erforderlich. Ob und inwieweit Wasserhaltungsmaßnahmen erforderlich werden, hängt von den geplanten Aushubtiefen ab.

Zur Trockenhaltung der Baugruben unterhalb des Wasserspiegels wäre eine geschlossene Grundwasserabsenkung (Gravitation, Brunnen) zu betreiben.

Für rechnerische Nachweise für einen Baugrubenverbau sind die charakteristischen Bodenkennwerte aus Abschnitt 5.1 zu verwenden.

Baugruben und Gräben sind gemäß DIN 4124 ab 1,25 m Tiefe zu verbauen oder abzuböschten. Für unverbaute Baugruben ergibt sich der ohne rechnerischen Nachweis einzuhaltende Böschungswinkel aus der DIN 4124 zu:

- $\beta = 45^\circ$ Auffüllungen (Schicht 1)
- $\beta = 45^\circ$ Sande (Schicht 2)
- $\beta = 45^\circ$ weicher bzw. weicher bis steifer Geschiebeboden (Schicht 4)
- $\beta = 45^\circ$ Schluffe (Schicht 3)

sofern die zulässigen Belastungen gemäß DIN 4124 eingehalten werden. Der angegebene Böschungswinkel gilt für kurzzeitige, unbelastete Baugrubenböschungen oberhalb des Wasserspiegels. Für Abgrabungen im Bereich bestehender Bauwerke / Gebäude bzw. baulicher Anlagen sind die Regelungen der DIN 4123 zu beachten.

Das Einbringen von Spundbohlen ist bei den vorliegenden Bodenverhältnissen mittels Einpressen oder Rammung vorzusehen. Hinweise zu erwartenden Einbringhindernissen sind Punkt 4.2 zu entnehmen. Die Auswirkungen dynamischer Einwirkungen auf den Bahndamm, das bestehende Stützbauwerk sind beim Rammen als gering einzuschätzen, sollte aber detailliert bewertet werden.

7 Verwertung / Entsorgung von Aushubmaterial und Bauschutt

7.1 Boden

Aus den anstehenden Auffüllungen wurden insgesamt sieben Mischproben gebildet und umweltchemisch nach LAGA untersucht. Die Proben MP-1 bis -5 sowie EP 2 wurde zudem auf Herbizide untersucht. Die Prüfberichte sind als Anlage 7 beigelegt. Die Einstufungen der Proben sind in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Bewertung der Bodenuntersuchungen nach LAGA TR Boden (Auffüllungen)

Probenbezeichnung	Entnahmestelle	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Zuordnung TR LAGA	AVV Abfallschlüs- sel
MP-1 (Boden)	BS 7/21	0,0 – 4,5	Z 1	170504 nichtgefährlicher Abfall
MP-2 (Boden)	BS 7/21	4,5 – 12,0	Z 1	170504 nichtgefährlicher Abfall
MP-3 (Boden)	BS 8/21	0,0 – 7,0	Z 1	170504 nichtgefährlicher Abfall
MP-4 (Boden)	BS 9/21	0,0 – 7,5	Z 2	170504 nichtgefährlicher Abfall
MP-5 (Boden)	BS 10/21	0,0 – 5,5	Z 1	170504 nichtgefährlicher Abfall
MP-6 (Boden)	BS 1/21	0,2 – 0,5	Z 1	170504 nichtgefährlicher Abfall
	BS 2/21	0,2 – 1,4		
	BS 3/21	0,2 – 1,4		
MP-7 (Boden)	BS 4/21	0,2 – 1,0	Z 1	170504 nichtgefährlicher Abfall
	BS 5/21	0,2 – 1,0		
	BS 6/21	0,2 – 1,0		
EP-1 (Stützwandmaterial)	Abklopfprobe	--	Z 1.2	170101 nichtgefährlicher Abfall
EP-2 (Boden)	BS 10/21	5,5 – 6,5	Z 1	170504 nichtgefährlicher Abfall

7.2 Bauschutt

Für den geplanten Rückbau der vorhandenen Bauwerke wurde eine Bauwerksprobe (EP 1) aus der Stützwand entnommen und auf unspezifischen Verdacht nach TR-LAGA Bauschutt untersucht.

Das mineralische Abbruchmaterial der Probe EP 1 entspricht nach dem Analysenergebnis allein aufgrund des gemessenen Chloridwertes dem Zuordnungswert Z 1.2 gemäß TR-LAGA Bauschutt. Ansonsten erfolgt eine Einstufung zur Zuordnungs-klasse Z 1.1.

8 Hinweise zu weiteren Erkundungen

Wie unter 4.2 bereits beschrieben, konnte die Situation eines möglichen Wasseraufstaus hinter der Stützwand mit den vorliegenden Untersuchungsergebnissen nicht abschließend geklärt werden. Da dieser Wasserstand einen großen Einfluss auf die Wandbemessung hat, wird empfohlen, hier weitere Erkundungen auszuführen. Dafür sollten zwei Grundwassermessstellen im Bahndamm errichtet und mit Datensammlern ausgestattet werden, um so auch kurzzeitige Spitzenwerte zu erfassen.

Im Bereich der BS 2/21 und BS 3/21 wurde unterirdische Hindernisse angetroffen, deren Herkunft und räumliche Ausdehnung nicht abgeklärt wurden. In Abhängigkeit von der Wahl der Sanierungsvariante können hier weitere Kenntnisse erforderlich werden, die im Zuge der Entwurfsbearbeitung dann durch ergänzende Erkundungen durch Schürfe zu gewinnen sind.

BAUGRUND STRALSUND

i.A.

Dipl.-Ing. Holger Chamier

Dipl.-Geol. Felicitas Krause