Unterlage 18.1

Geotechnischer Bericht

Vorhabenbezeichnung:	**Neubau S-Bahnlinie S4 (Ost) Hamburg – Bad Oldesloe**
Streckennummern/Strecken:	**1120, 1249**
Planungsabschnitt:	Planfeststellungsabschnitt 1 (Hamburg Hasselbrook -Hamburg Luetkensallee)
Bahn-km:	Strecke 1120, km 59,709 bis km 56,597 Strecke 1249, Bau-km 100,00 bis Bau-km 103,114
Bearbeitet durch:	DB ProjektBau GmbH Regionalbereich Nord Planung I.TP-N-P(21) Joachimstraße 8 30159 Hannover
Bearbeiter:	Dipl.-Ing. Scheunemann Dipl. Ing. Bettina Müller Dipl.-Ing. Sara Polanyi

Hannover, 31.12.2015

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung und Objektbeschreibung	8
2	Bearbeitungsunterlagen	11
3	Überblick über Morphologie, Geologie, Hydrologie	13
3.1	Morphologische Verhältnisse	13
3.2	Geologischer Überblick	14
3.3	Hydrologischer und hydrogeologische Überblick	15
4	Feldarbeiten und Laboruntersuchungen	18
4.1	Felduntersuchungen	18
4.1.1	Allgemeines	18
4.1.2	Durchführung der Felduntersuchungen	18
4.2	Laboruntersuchungen	19
5	Darstellung der Ergebnisse	21
5.1	Baugrundschichten	21
5.2	Geotechnische Eigenschaften der Baugrundschichten	21
5.3	Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche	25
5.4	Klassifizierung/ Baugrundmodell	28
5.5	Wasser im Baugrund	30
5.6	Grundwasseranalytik	31
5.6.1	Beton- und Stahlaggressivität	31
5.6.2	Einleitparameter	32
5.7	Charakteristische Bodenkennwerte	32
6	Geotechnische Kategorien	33
7	Schlussfolgerungen und Gründungsempfehlungen Erdbauwerke	36
7.1	Grundsätze	36
7.1.1	Anforderungen an Schutz- bzw. Tragschichten	36
7.1.2	Grundsätze bei der Bemessung auf Frost	38
7.1.3	Grundsätze bei der Bemessung auf Tragfähigkeit	39
7.1.4	Grundsätze zur Qualitätssicherung	41
7.2	Abschnittbezogene Bemessung der Tragschichten	42
7.2.1	Vorbemerkungen	42
7.2.2	Abschnitt km 59,709 bis km 59,300, Strecke 1249, Gleis Ahrensburg - Hamburg	43
7.2.3	Abschnitt km 59,300 bis km 58,400, Strecke 1249, Gleis Ahrensburg - Hamburg	44
7.2.4	Abschnitt km 58,400 bis km 58,110, Strecke 1249, Gleis Ahrensburg - Hamburg	45
7.2.5	Abschnitt km 58,110 bis km 57,500, Strecke 1249, Gleis Ahrensburg - Hamburg	46
7.2.6	Abschnitt km 57,500 bis km 56,597, Strecke 1249, Gleis Ahrensburg - Hamburg	47
7.2.7	Abschnitt km 59,709 bis km 59,300, Strecke 1249, Gleis Hamburg - Ahrensburg	48
7.2.8	Abschnitt km 59,300 bis km 58,400, Strecke 1249, Gleis Hamburg - Ahrensburg	49
7.2.9	Abschnitt km 58,400 bis km 58,110, Strecke 1249, Gleis Hamburg - Ahrensburg	49
7.2.10	Abschnitt km 58,110 bis km 57,500, Strecke 1249, Gleis Hamburg - Ahrensburg	50
7.2.11	Abschnitt km 57,500 bis km 56,597, Strecke 1249, Gleis Hamburg - Ahrensburg	51
7.2.12	Abschnitt km 59,709 bis km 59,150 Strecke 1120, Gleise Hamburg - Lübeck und Lübeck - Hamburg	52
7.2.13	Abschnitt km 59,150 bis km 58,800, Strecke 1120,Gleise Hamburg - Lübeck und Lübeck - Hamburg	53
7.2.14	Abschnitt km 58,800 bis km 58,450, Strecke 1120,Gleise Hamburg - Lübeck und Lübeck - Hamburg	54
7.2.15	Abschnitt km 58,450 bis km 58,150, Strecke 1120,Gleise Hamburg - Lübeck und Lübeck - Hamburg	55
7.2.16	Abschnitt km 58,100 bis km 57,740, Strecke 1120, Gleise Hamburg - Lübeck und Lübeck - Hamburg	56
7.2.17	Abschnitt km 57,740 bis km 56,597, Strecke 1120, Gleise Hamburg - Lübeck und Lübeck - Hamburg	57

7.2.18 Strecke 1241, Gleise Hamburg - Poppenbüttel km 4,200 bis km 4,500 58
7.2.19 Strecke 1242, Gleis Wandsbek - Hamburg, km 58,800 bis km 59,460 58
7.2.20 Strecke 1242, Gleis Hamburg - Wandsbek, km 59,460 bis km 58,800 59
7.2.21 Strecke 1234 60
7.2.22 Bahnhofsgleise Gbf Wandsbek km 57,740 bis km 57,250 61
7.2.23 Bahnhofsgleise Gbf Wandsbek km 57,250 bis km 56,740 62
7.3 Empfehlungen für die Herstellung der Erdbauwerke 63
7.3.1 Baugrundverbesserungen 63
7.3.2 Dammverbreiterungen 66
7.3.3 Einschnittsverbreiterungen 68
7.3.4 Verschwenkungsbereiche 69
7.3.5 Nachweise der Standsicherheit und der Verformungen für Erdbauwerke 70
7.4 Bewertung der dynamischen Stabilität 72
7.5 Empfehlungen für die Bahnkörperentwässerung 73
8 Schlussfolgerungen und Gründungsempfehlungen Ingenieurbauwerke 78
8.1 Flächengründung 78
8.2 Pfahlgründungen 80
8.3 Baugruben, Verankerungen 80
9 Gründungsempfehlungen Lärmschutzwände 85
9.1 Allgemeines 85
9.2 Bemessung der Gründung 86
10 Gründungsempfehlungen Hochbauten 89
10.1 Allgemeines 89
10.2 Gründungsempfehlung 90
10.3 Gebäudeentwässerung 91
11 Empfehlungen Straßen/Wege 92
11.1 Allgemeines 92
11.2 Bemessung der Tragschichten 92
11.3 Grundsätze zur Qualitätssicherung 94
12 Kabeltiefbau 95
12.1 Allgemeines 95
12.2 Schächte 95
12.3 Kabeltrassen 95
12.4 Kabelquerungen 95
13 Sonstiges 97
13.1 Bautechnische Hinweise 97
13.2 Ergänzende Baugrunduntersuchungen 97

Anhang 1: Überwerfungsbauwerk, km 59,456 (Strecke 1120) 99
Anhang 2: EÜ über die Strecke 1234, km 59,264 (Strecke 1120) 101
Anhang 3: EÜ (F) Claudiusstraße, km 58,808 (Strecke 1120) 103
Anhang 4: Neubau EÜ (F) PU Schloßgarten, km 58,644 (Strecke 1120) 105
Anhang 5: EÜ (F) Bf Claudiusstraße, km 58,469 (Strecke 1120) 108
Anhang 6: Neubau EÜ (F) PU Wandsbek, km 58,146 (Strecke 1120) 110
Anhang 7: EÜ Gehölzgraben, km 58,006 (Strecke 1120) 112
Anhang 8: Erweiterung EÜ Bovestraße, km 57,849 (Strecke 1120) 114
Anhang 9: EÜ Luetkensallee, km 56,740 (Strecke 1120) 116
Anhang 10: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1249, Gleis Ahrensburg-Hamburg, km 57,500 - km 56,597 119
Anhang 11: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1249, Gleis Ahrensburg-Hamburg, km 58,110 - km 57,500 120
Anhang 12: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1249, Gleis Ahrensburg-Hamburg, km 58,400 - km 58,110 121
Anhang 13: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1249, Gleis Ahrensburg-Hamburg, km 59,300 - km 58,400 122

Anhang 14: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1249, Gleis Ahrensburg-Hamburg, km 59,704 – km 59,300 123
Anhang 15: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1249, Gleis Hamburg-Ahrensburg, km 59,704 – km 59,300 124
Anhang 16: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1249, Gleis Hamburg-Ahrensburg, km 59,300 – km 58,400 125
Anhang 17: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1249, Gleis Hamburg-Ahrensburg, km 58,400 – km 58,110 126
Anhang 18: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1249, Gleis Hamburg-Ahrensburg, km 58,110 – km 57,500 127
Anhang 19: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1249, Gleis Hamburg-Ahrensburg, km 57,500 – km 56,597 128
Anhang 20: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1120, Gleise Hamburg – Lübeck und Lübeck – Hamburg, km 59,707 – 59,150 129
Anhang 21: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1120, Gleise Hamburg – Lübeck und Lübeck – Hamburg, km 59,150 – 58,800 130
Anhang 22: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1120, Gleise Hamburg – Lübeck und Lübeck – Hamburg, km 58,800 – 58,450 131
Anhang 23: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1120, Gleise Hamburg – Lübeck und Lübeck – Hamburg, km 58,450 – 58,150 132
Anhang 24: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1120, Gleise Hamburg – Lübeck und Lübeck – Hamburg, km 58,150 – 57,740 133
Anhang 25: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1120, Gleise Hamburg – Lübeck und Lübeck – Hamburg, km 57,740 – 56,597 134
Anhang 26: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1241 135
Anhang 27: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1242, Neubau 136
Anhang 28: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1242, „Verbesserung/Erneuerung“ und „Neubau“ 137
Anhang 29: Bemessung Tragschichtsystem Strecke 1234 138
Anhang 30: Bemessung Tragschichtsystem Güterzuggleise, Neubau 139
Anhang 31: Bemessung Tragschichtsystem Güterzuggleise, Verbesserung/Erneuerung 140
Anhang 32: Verbindungsweg Claudiusstraße/Schlossgarten 141
Anhang 33: Bahngärten 142
Anhang 34: Bovestraße 143
Anhang 35: Gustav-Adolf-Straße 144

Unterlagenverzeichnis

Unterlage	Bezeichnung	Blatt
18.2	Übersichtsplan (M. 1:5000)	1
18.3	Lage- und Aufschlusspläne (M. 1:1000)	5
18.4	Aufschlusstabelle	8
18.5	Baugrundprofile u. Sondierdiagramme (M. d. H. 1:100)	30
18.6	Bodenmechanische Laborversuche	
18.6.1	Zusammenstellung Laborergebnisse	4
18.6.2	Korngrößenverteilungen	195
18.6.3	Fließ- u. Ausrollgrenzen	60
18.6.4	Korndichten	3
18.6.5	Dichten	8
18.6.6	Triaxialversuche (UU)	2
18.6.7	Eindimensionale Kompressionsversuche	10
18.6.8	Einaxiale Druckfestigkeiten	2
18.6.9	Bestimmung der Scherfestigkeiten (DSR)	4
18.7	Sonstige Laborversuche	
18.7.1	Betonaggressivität	11
18.7.2	Stahlkorrosivität	21
18.7.3	Einleitparameter	2

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Streckenstandard aus Betrieblicher Aufgabenstellung aus [U 1]

Strecke (VzG)	Streckenabschnitt	Strecken-standard/ TEN	Netztyp [V/L/R], [H/N]	Anzahl Gleise	Hg [km/h]	Brems-weg-abstand	Ol [J/N]	ZF [J/N]	In-dusi/PZB [J/N]
1120	Lübeck Hbf - Hamburg Hbf	M 160 / TEN-konvetio-nell (V-M)	L, H	2	160	1000	J	J	J
1249	Hasselbrook - Holstenhofweg	P160I / no-TEN	V, H	2	100	S-Bahn Hmb	Strom - schie ne	J	J
1249	Holstenhofweg - Rahlstedt	P160I / no-TEN	V, H	2	100	700 m	J	J	J
1249	Rahlstedt - Ahrensburg	P160I / no-TEN	V, H	2	140	1000 m	J	J	J
1294	Ahrensburg - Bargteheide	P160I / no-TEN	V, H	1	140	1000 m	J	J	J

Legende: *V/L/R: Vorrang- / Leistungs- / /Regionalnetz*
H/N : Haupt- / Nebenbahn
Hg: Höchstgeschwindigkeit
Ol: Oberleitung
ZF: Zugfunk GSM-R
PZB: punktförmige Zugbeeinflussung

8

Tabelle 2 Entwurfsgeschwindigkeiten Strecke 1120 nach [U 1]

Abschnitt*	Strecke 1120 Ve= Richtung Hamburg
km 47,029 – km 56,300	140 km/ h
km 56,300 – km 59,600	120 km/h
km 59,600 – km 59,700	100 km/h

*Kilometrierung von Lübeck nach Hamburg

Abschnitt*	Strecke 1120 Ve= Richtung Lübek
km 47,029 – km 56,700	140 km/ h
km 56,700 – km 57,300	130 km/h
km 57,300 – km 59,600	120 km/h
km 59,600 – km 59,700	100 km/h

*Kilometrierung von Lübeck nach Hamburg

9

Tabelle 3 Zusammenstellung Ingenieurbauwerke 9

Tabelle 4 Zusammenstellung der Lärmschutzwände im PFA 1 10

Tabelle 5 Geotechnische Kennwerte der Auffüllungen 22

Tabelle 6 Geotechnische Kennwerte weit bis intermittierend gestufter Sande 22

Tabelle 7 Geotechnische Kennwerte des Geschiebelehmes 23

Tabelle 8 Geotechnische Kennwerte des Geschiebemergels 24

Tabelle 9 Laborergebnisse Schmelzwassersande 26

Tabelle 10 Laborergebnisse Geschiebelehm, -mergel 27

Tabelle 11 Zusammenstellung der Steifemoduli aus eindimensionalem Kompressionsversuch 27

Tabelle 12 Laborergebnisse Beckenablagerungen 28

Tabelle 13 Betonangriffsgrad und Korrosionswahrscheinlichkeit von Grundwasserproben 31

Tabelle 14 Ergebnisse Bestimmung der Einleitparameter der Wasserproben 32

Tabelle 15 Charakteristische Bodenkennwerte 33

Tabelle 16 Anforderungen an den Unterbau/Untergrund Strecke 1249 (Neubau) 37

Tabelle 17 Anforderungen an den Unterbau/Untergrund für Gleisen mit max. v = 80 km/h 37

Tabelle 18 Richtgrößen für den Berechnungsmodul E_H 39

Tabelle 19 Zusammenstellung der Maßnahmen zur Baugrundverbesserung 65

Tabelle 20 Regelneigungen für Dämme und Einschnitte in Lockergesteinsböschungen an Eisenbahnstrecken (aus [U 8]) 70

Tabelle 21 Zusammenstellung der Erdbauwerke mit Zuordnung in die GK 2 72

Tabelle 22 Zusammenstellung der Bereiche mit (temporär) schwingungsempfindlichen Böden 73

Tabelle 23 Charakteristische Kennwerte für die Pfahlbemessung gerammter Fertigpfähle (ohne Berücksichtigung der Modellfaktoren) 87

1 Aufgabenstellung und Objektbeschreibung

Die Maßnahme S-Bahnlinie S4 (Ost), für die die Streckennummer 1249 vergeben wurde und die parallel zur Bestandsstrecke 1120 zwischen Hamburg und Bad Oldesloe geplant wird, dient der Verbesserung der Nahverkehrsanbindung im Nordosten von Hamburg und der Region nordöstlich von Hamburg und soll zur Entlastung des Hamburger Hauptbahnhofes beitragen. Ferner sollen auf der bestehenden Fernbahnstrecke die erforderlichen Kapazitäten für die Aufnahme der prognostizierten Steigerungen im Güterverkehr geschaffen werden. Die Maßnahme wird nach aktuellem Stand in 4 Planfeststellungsabschnitte (PFA) gegliedert.

Aus der Betrieblichen Aufgabenstellung V4.3 vom 02.11.2015 wurden die in der Tabelle 1 angegebenen Höchstgeschwindigkeiten (Hg) entnommen, die für die Bemessung der Verkehrsanlagen maßgebend sind.

Tabelle 1 Streckenstandard aus Betrieblicher Aufgabenstellung aus [U 1]

Strecke (VzG)	Streckenabschnitt	Streckenstandard/ TEN	Netztyp [V/L/R], [H/N]	Anzahl Gleise	Hg [km/h]	Bremsweg-abstand	Ol [J/N]	ZF [J/N]	Indusi/PZB [J/N]
1120	Lübeck Hbf - Hamburg Hbf	M 160 / TEN-konvetionell (V-M)	L, H	2	160	1000	J	J	J
1249	Hasselbrook - Holstenhofweg	P160I / no-TEN	V, H	2	100	S-Bahn Hmb	Strom-schiene	J	J
1249	Holstenhofweg - Rahlstedt	P160I / no-TEN	V, H	2	100	700 m	J	J	J
1249	Rahlstedt - Ahrensburg	P160I / no-TEN	V, H	2	140	1000 m	J	J	J
1294	Ahrensburg - Bargteheide	P160I / no-TEN	V, H	1	140	1000 m	J	J	J

Legende: *V/L/R: Vorrang- / Leistungs- / /Regionalnetz*
H/N : Haupt- / Nebenbahn
Hg: Höchstgeschwindigkeit
Ol: Oberleitung
ZF: Zugfunk GSM-R
PZB: punktförmige Zugbeeinflussung

Für die Strecke 1120 sind gemäß Vorplanung die in der Tabelle 2 enthaltenen Entwurfsgeschwindigkeiten bei der Planung zu berücksichtigen.

Tabelle 2 Entwurfsgeschwindigkeiten Strecke 1120 nach [U 1]

Abschnitt*	Strecke 1120 Ve= Richtung Hamburg
km 47,029 – km 56,300	140 km/ h
km 56,300 – km 59,600	120 km/h
km 59,600 – km 59,700	100 km/h

*Kilometrierung von Lübeck nach Hamburg

Abschnitt*	Strecke 1120 Ve= Richtung Lübek
km 47,029 – km 56,700	140 km/ h
km 56,700 – km 57,300	130 km/h
km 57,300 – km 59,600	120 km/h
km 59,600 – km 59,700	100 km/h

*Kilometrierung von Lübeck nach Hamburg

Gegenstand dieses 1. Berichtes ist die Beschreibung der Baugrundverhältnisse und die Erarbeitung von Gründungsvorschlagen für die Verkehrsanlagen der Strecken 1120, 1249, 1241 (S-Bahnstrecke S1), Strecke 1242 (Horner Kurve), sowie der Strecke 1234, ferner für die Ingenieurbauwerke, die Gebäude und für Lärmschutzwände für die Planungsphase Entwurfsplanung.

Im PFA 1 zwischen Hasselbrook km 59,709 und Hamburg-Wandsbek km 56,597 sind u.a. folgende Bauwerke zu bearbeiten:

Die in der Tabelle 3 zusammengestellten Ingenieurbauwerke werden im Zuge der Maßnahme neu gebaut bzw. erweitert.

Tabelle 3 Zusammenstellung Ingenieurbauwerke

Strecke 1120	Bauwerksbezeichnung
59,456	Überwerfungsbauwerk
59,264	Verbreiterung Krbw EÜ über Strecke 1234
59,165	Anpassung EÜ Hammerstraße
58,807	Neubau EÜ (F) PU Claudiusstraße
58,630	Neubau EÜ (F) PU Schloßgarten
58,469	EÜ (F) Bf. Claudiusstraße
58,146	Neubau EÜ (F) PU Wandsbek
58,006	EÜ Gehölzgraben
57,849	Erweiterung EÜ Bovestraße
56,716	EÜ Luetkensallee

Ferner sind ein Stützbauwerk bahnlinks der Strecke neu zu planen, diverse Durchlässe zu verlängern und die in Tabelle 4 zusammengestellten Lärmschutzwände (LSW) Gegenstand des Projektes.

Tabelle 4 Zusammenstellung der Lärmschutzwände im PFA 1

Stationen bezogen auf Strecke 1120		Bemerkungen	
56,597	59,279	LSW nördlich der Strecke 1249	PFA Anfang (Ost) bis Robert-Schumann-Brücke
56,597	58,493	Mittelwand zw. Strecken 1120 u. 1249	östlich der Robert-Schumann-Brücke
58,508	59,037		westlich der Robert-Schumann-Brücke
56,597	56,796	LSW südlich der Strecke 1120	Beginn PFA 1 (Ost)
56,762	57,227		südl.Nebengleis 1242_Gl9/_Gl4
57,165	57,739		südl.Nebengleis 1242_Gl9
57,735	58,491		östlich der Robert-Schumann-Brücke
58,807	58,820		Robert-Schumann-Brücke bis Abzw. 1242
59,025	59,152		Kleingärten östlich Hammer Straße
59,178	59,613		westlich EÜ Hammer Straße bis SÜ Hammer Steindamm
59,642	59,705		SÜ Hammer Steindamm bis Beginn PFA 1 (West)
Strecke 1241			
4,257	4,690	LSW Strecke 1241	Nord-/Westseite, SÜ Hammer Steindamm bis SÜ Pappelallee
Strecke 1242			
59,024	59,385	LSW Strecke 1242	Nord-/Westseite
58,820	59,463		Süd-/Ostseite
59,157	59,188		Nord-/Westseite, auf EÜ Hammer Straße
59,162	59,195		Süd-/Ostseite, auf EÜ Hammer Straße
Strecke 1234			
15,594	15,921	LSW Strecke 1234	Westseite, südlich EÜ 1120/1249
15,327	15,562		Ostseite, zw. SÜ Pappelallee und EÜ 1120/1249

Alle km-Angaben im vorliegenden Bericht beziehen sich auf die derzeit gültige und in den lvl-Plänen dargestellte Stationierung der Strecke 1120, die den Bestand dokumentiert. Durch das Hinterlegen des Bestandes (in grauer Farbe) in den aktuellen Planunterlagen kann der Bezug zur Stationierung der geplanten Strecke 1249 hergestellt werden.

2 Bearbeitungsunterlagen

[U 1] Betriebliche Aufgabenstellung V4.3 vom 02.11.2015

[U 2] Schüßler Plan. S4 (Ost) Hamburg Hasselbrook - Bargteheide. Vorentwurfsplanung Los Hamburg, Gesamterläuterungsbericht und Unterlagen. Hamburg, Stand: 15.04.2014

[U 3] GRUNDBAUINGENIEURE STEINFELD UND PARTNER GbR. Ausbau/Neubau der S-Bahnlinie S4 (Ost) Hamburg - Bad Oldesloe, Los Hamburg, Strecke 1249: Hamburg-Hasselbrook - Bargteheide, Bericht Generelle Baugrundbeurteilung auf der Grundlage vorhandener Unterlagen. Hamburg, den 24. September 2012

[U 4] Geotechnischer Bericht, Strecke 1120, Lübeck Hbf. - Hamburg Hbf., Lärmschutzwände Ortsdurchfahrt Hamburg. Lärmschutzwand Marienthaler Straße, 59,730 - 60,740, l.d.B. DB International GmbH, Berlin, 21.01.2010

[U 5] Geotechnischer Bericht, Strecke 1120, Lübeck Hbf. - Hamburg Hbf., Lärmschutzwände Ortsdurchfahrt Hamburg. Lärmschutzwand Schatzmeisterstraße, km 57,745 - 59,140, l.d.B. DB International GmbH, Berlin, 15.01.2010

[U 6] Kneib Bau- und Bohrgesellschaft mbH & Co. KG. Schichtenverzeichnisse, Ramm- und Drucksondierdiagramme, Bohrprofile. Ludwigsfelde, Oktober 2014 - August 2015

[U 7] Baugrund Stralsund Ingenieurgesellschaft mbH. Laborberichte 1-16 (bodenmechanische Laborversuche). Stralsund, Oktober 2014 - Juni 2015

[U 8] DB Ril 836 „Erdbauwerke planen, bauen und instand halten", DB Netz AG. Fassung vom 20.12.1999a mit 1. Aktualisierung, gültig ab 01.10.2008; 2. Aktualisierung, gültig ab 01.02.2013; 3. Aktualisierung, gültig ab 01.03.2014 ; 4. Aktualisierung, gültig ab 01.12.2014

[U 9] DB Ril 804.4110 „Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke) planen, bauen und instand halten; Hilfsbrücken

[U 10] DB Ril 804.5501 „Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke) planen, bauen und instand halten; Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken", DB Netz AG. gültig ab 01.6.10

[U 11] EC 7-1: Handbuch EC 7-1: Handbuch Eurocode 7 - Geotechnische Bemessung, Band 1 Allgemeine Regeln. 1 Auflage, Beuth Verlag, 2011

[U 12] EC 7-2: Handbuch EC 7-2: Handbuch Eurocode 7 - Geotechnische Bemessung, Band 2 Erkundung und Untersuchung. 1 Auflage, Beuth Verlag, 2011

[U 13] DIN 1054:2010-12. Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau

[U 14] ZTV E-StB 09 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau

[U 15] ZTV-SoB-StB 04/07 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau

[U 16] Merkblatt über Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund, FGSV, Ausgabe 2010

[U 17] EA Pfähle, 2. Auflage, Ernst & Sohn, 2012

[U 18] Schallschutzkonzept PFA1 Entwurfsstand 28.12.2015, LAIRM Consult GmbH

Außerdem kommen die gegenwärtig gültigen Normen und Vorschriften des Erd- und Grundbaus zur Anwendung.

Der besseren Übersicht geschuldet werden Normen und Vorschriften, auf die sich im Text bezogen wird, mit Fußnote gekennzeichnet und in der Fußzeile genannt. Quellen von Bildern und Tabellen werden im Text bzw. in den Tabellen- oder Bildüberschriften aufgeführt.

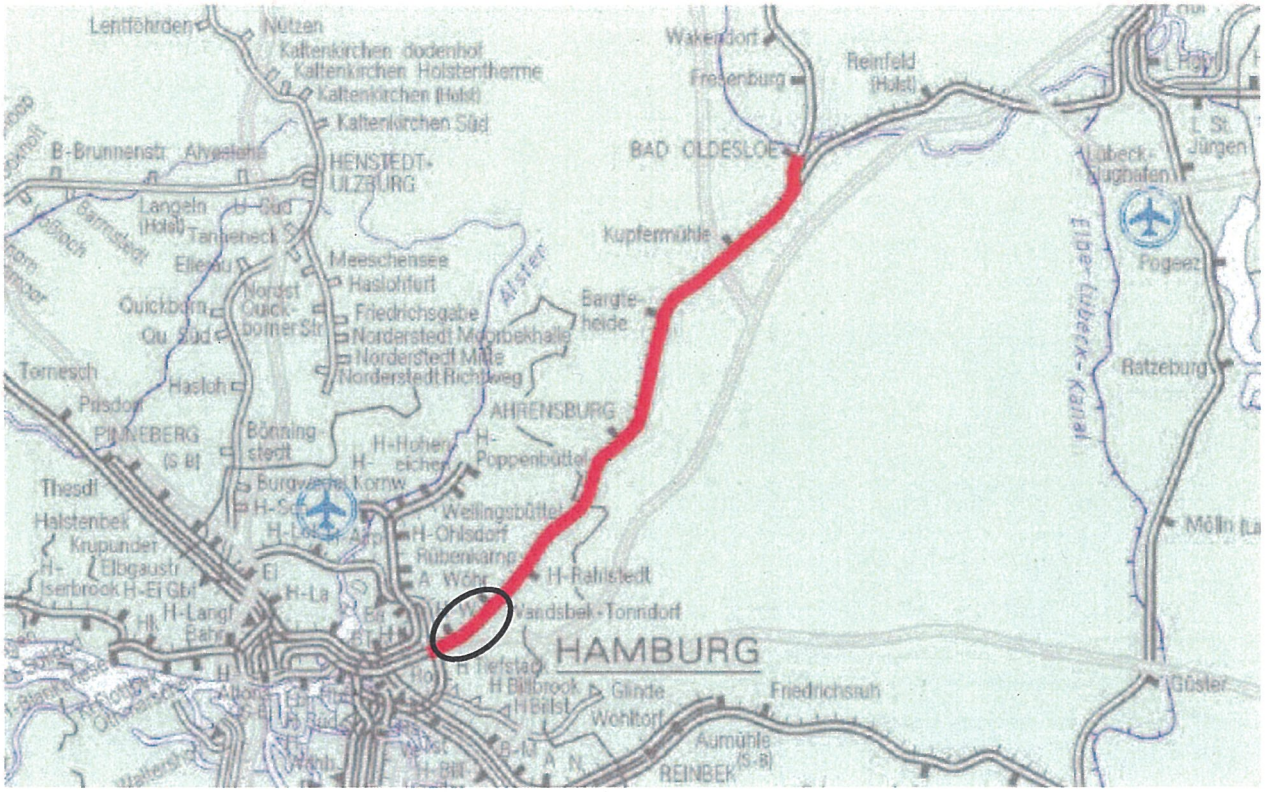
3 Überblick über Morphologie, Geologie, Hydrologie

3.1 Morphologische Verhältnisse

Der Planungsraum des PFA 1 liegt im Bereich des Hamburger Stadtgebietes inmitten urbaner Bebauung. Er erstreckt sich auf den Teilabschnitt der Strecke 1120 Hamburg Hbf. – Lübeck Hbf. vom östlichen Rand des Haltepunktes Hamburg-Hasselbrook km 59,689 bis zum km 56,597 östlich des Bahnhofs Hamburg-Wandsbek. Alle nachfolgenden Angaben zur Kilometrierung beziehen sich auf die Kilometrierung der Strecke 1120.

Die Lage im Netz der DB AG zeigt das Bild 1.

Bild 1 Lage im Netz



Gesamtmaßnahme PFA 1

Der im PFA 1 zu untersuchende Streckenabschnitt quert das östliche Stadtgebiet von Hamburg mit den Stadtteilen Hamm-Nord, Marienthal und Wandsbek von Südwesten nach Nordosten. Zum Planungsraum gehören die geplanten/bestehenden S-Bahnhaltepunkte (HP)/S-Bahnhöfe (BF): Bf/HP Hasselbrook, HP Claudiusstraße km 58,700 - km 58,910 und der Bf Wandsbek km 58,350 - km 58,130.

Am Abschnittsanfang liegt die bestehende Geländeoberkante (GOK) etwa auf der Kote NN + 10 m in einem mehrere Meter tiefen Einschnitt. Im Streckenverlauf steigt die GOK übergeordnet in Richtung Nordosten an. Östlich der Hammerstraße liegt der Bahnkörper etwa in Geländehöhe bzw. in einem flachen Einschnitt kleiner 1 m. Ab der Schatzmeisterstraße folgt ein Dammab-

schnitt bis zur Bovestraße. Nach der Bovestraße folgt bis zum Abschnittsende Lage im flachen Anschnitt, wobei das Gelände großräumig betrachtet von Norden in Richtung Süden abfällt. Die Schienenoberkanten (SO) der Bestandsgleise steigen übergeordnet von rd. NN +11,0 m in Hasselbrook am Hammer Steindamm bis zur PFA-Grenze auf rd. NN +17,1 m 100 m östlich der Luetkensallee an. Hinsichtlich der naturräumlichen Gliederung quert die Trasse den Bach Gehölzgraben bei rd. km 58,010.

3.2 Geologischer Überblick

Nach Auswertung der vorhandenen geologischen Kartenwerke von Hamburg liegt der bestehende und künftige Trassenverlauf der DB-Strecke 1120 bzw. der S-Bahnstrecke 1249 im gesamten PFA 1 einheitlich im Bereich der Geest. Die hier flächig oberflächennah anstehenden pleistozänen (eiszeitlichen) Böden werden örtlich unregelmäßig von in dieser Schichtabfolge mit erosiv gegliedertem Relief eingetieften holozänen Talfüllungen sowie den aus der jeweiligen vorhergehenden Flächennutzung resultierenden Auffüllungen überlagert.

Die Verbreitung junger holozäner Talfüllungen ist im Wesentlichen an die den Trassenverlauf querenden Bäche/Flüsse und die diese begleitenden Niederungen gebunden. Typische Ablagerungen der holozänen Talfüllungen sind organische Weichschichten aus bindig-humosem Auelehm, Torf und Mudde/Faulschlamm sowie Sande mit wechselnden Schluffgehalten sowie mit Schluff-/Torfsteifen bzw. humosen Streifen.

Bei den pleistozänen Ablagerungen handelt es sich im Wesentlichen um glazifluviatile Sande sowie bindige Geschiebeböden (Geschiebelehm und Geschiebemergel der Saalekaltzeit). Untergeordnet treten auch Beckenablagerungen aus Beckenschluff und Beckenton auf. Die v. g. Böden sind stratigraphisch dem Quartär zuzuordnen.

Im tieferen Baugrund werden die pleistozänen Böden von den Schichtabfolgen des Tertiärs unterlagert, wobei das Tertiär eine stark erosiv gegliederte Oberfläche aufweist. Die OK Tertiär zeigt dementsprechend ein kleinräumlich stark unterschiedliches Niveau. Im Trassenverlauf erstrecken sich örtliche Hochlagen der OK Tertiär (= Quartärbasis) gemäß Geologische Übersichtskarte Raum Hamburg zwischen Hasselbrook und der Claudiusstraße OK Tertiär ≥ NN -10,0 m sowie im nordöstlich anschließenden Trassenabschnitt bis etwa zum Holstenhofweg OK Tertiär zwischen rd. NN -25 m. In den v. g. Hochlagen besteht das Tertiär aus dem ursprünglich mehr als 100 m mächtigen Glimmerton.

In [U 3] wird auf der Grundlage von Altaufschlüssen der im Trassenverlauf erkundete Baugrund wie folgt beschrieben. Im Teilabschnitt von etwa km 59,689 bis 57,000 stehen unterhalb der Auffüllungen großflächig Sande an, die zumeist erst in größerer Tiefe von Geschiebelehm/ Geschiebemergel und Beckenablagerungen unterlagert werden. Die erkundeten Sande können örtlich unregelmäßige und kleinräumlich begrenzte Einschaltungen bindiger Böden enthalten.

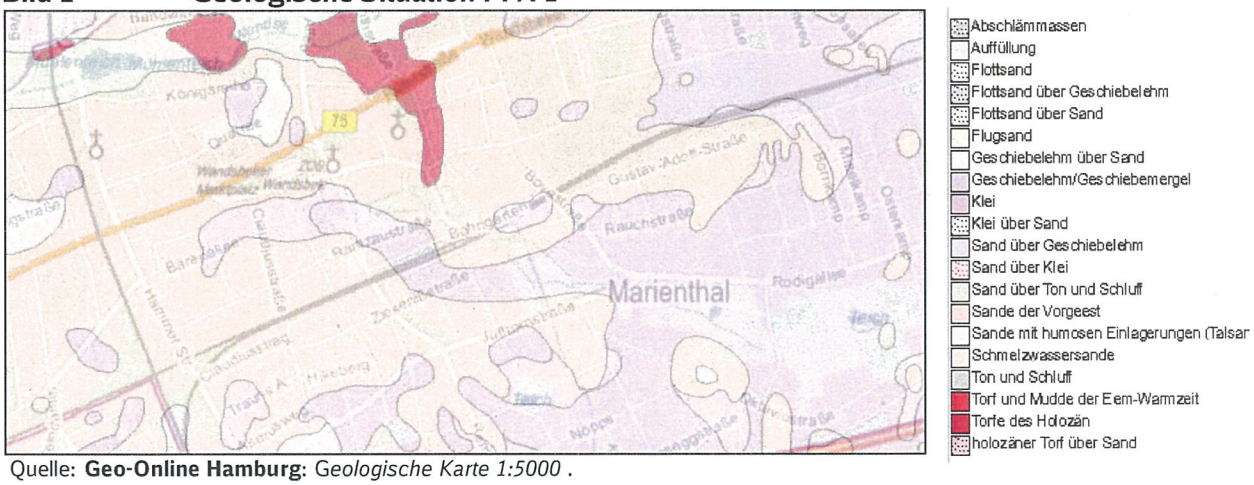
Örtlich treten auch in höheren Niveaus räumlich ausgedehnte Einschaltungen bindiger Geschiebeböden bzw. von Beckenablagerungen auf. Im Abschnitt zwischen rd. km 58,400 und rd. km 58,200 besteht der gewachsene Baugrund abweichend von den v. g. Angaben unter den Auffüllungen bis zur Endtiefe der vorliegenden Altaufschlüsse aus bindigen Geschiebeböden.

Oberhalb der zusammenhängenden Sande wurden in verschiedenen Altaufschlüssen im Bereich BÜ Claudiusstraße und im Umfeld des HP Bovestraße nur lokal begrenzt und in geringer Mächtigkeit organische Weichschichten aus Auelehm bzw. schluffig-organische Sande (holozäne Böden) erkundet.

Im Bereich BÜ Hammer Straße werden die bindigen Geschiebeböden im tieferen Baugrund von tertiärem Glimmerschluff unterlagert. Bei den im Bereich StrÜ Hammer Steindamm ab rd. NN - 10,0 m erkundeten Böden, in den Altaufschlüssen als Schluff/Beckenschluff bezeichneten, kann es sich ebenfalls um tertiären Glimmerton handeln.

Ab etwa km 57,000 bis zur PFA-Grenze wird die Baugrundschichtung charakterisiert durch die unmittelbar unterhalb der Auffüllungen flächendeckend erkundeten bindigen Geschiebeböden, die überwiegend bis zur Endtiefe der jeweiligen Altaufschlüsse nicht durchteuft wurden. In den bindigen Geschiebeböden sind lokal geringmächtige Linsen bzw. Lagen aus Sand bzw. Beckenschluff eingeschaltet. Örtlich treten auch mächtigere Sandeinschaltungen auf. In einzelnen tiefer reichenden Aufschlüssen werden die bindigen Geschiebeböden von Beckenablagerungen unterlagert.

Bild 2 Geologische Situation PFA 1



Quelle: **Geo-Online Hamburg**: *Geologische Karte 1:5000* .

3.3 Hydrologischer und hydrogeologische Überblick

Der den Streckenverlauf im PFA 1 bei rd. km 58,010 querende Bach Gehölzgraben entwässert insgesamt in Richtung Alster und damit übergeordnet in südwestliche bis westliche Richtung.

Nach den Grundwassergleichen des Geest-Hauptgrundwasserleiters ist von einem Grundwasserabstrom/ vorhandenen Grundwassergefälle übergeordnet in südwestliche bis westliche Rich-

tung auszugehen. Dabei steigt der Grundwasserspiegel von ca. NN +7 m im Bereich Hasselbrook übergeordnet auf ein Niveau von ca. NN +40 m im Bereich der Landesgrenze FHH/SH an. Örtlich ist im Streckenverlauf von künstlichen permanenten Grundwasserabsenkungen auszugehen (z. B. Umfeld EÜ Kreuzungsbauwerk Str. 1234 (Güterbahn) bei km 59,263. Es ist ferner damit zu rechnen, dass die im Streckenverlauf herrschenden Grundwasserstände örtlich durch bestehende Entwässerungseinrichtungen entlang der bestehenden Strecke 1120 (z. B. streckenparallele Tiefenentwässerung in Einschnittsbereichen) beeinflusst sind.

Die im Planungsraum weit verbreiteten und überwiegend dem Pleistozän zuzurechnenden Sande stellen gemeinsam mit den Sanden der örtlich in die Ablagerungen der Geest eingeschnittenen bzw. diese überlagernden holozänen Talfüllungen oberflächennahe Grundwasserleiter dar. Zwischen diesen lokal unregelmäßig verbreiteten Grundwasserleitern sind örtlich unterschiedliche hydraulische Wegsamkeiten ausgebildet. Örtlich werden die oberflächennahen Grundwasserleiter von einer gering wasserdurchlässigen Deckschicht aus bindigen Geschiebeböden bzw. in den größeren Talniederungen von organischen Weichschichten überlagert.

Bei den im Planungsraum erkundeten bindigen Böden (Geschiebelehm und Geschiebemergel sowie Beckenablagerungen aus Schluff/Beckenschluff bzw. Ton/Beckenton) sowie den örtlich vorliegenden holozänen organischen Weichschichten (Auelehm, Torf, Mudde/Faulschlamm) handelt es sich um gering bis sehr gering wasserdurchlässige Schichten, die als Grundwasserhemmer/Grundwassernichtleiter beurteilt werden. Die Geschiebeböden und untergeordnet auch die Beckenablagerungen bilden verbreitet die Grundwassersohlschicht des oberflächennahen Grundwasserleiter. Räumlich ausgedehnte zusammenhängende Verbreitungsgebiete oberflächennah anstehender bindiger Geschiebeböden mit bis zu mehreren Dekametern Mächtigkeit finden sich am Nordostrand des PFA 1 und unterbrechen die einzelnen oberflächennahen Grundwasserleiter. In den Geschiebeböden ist dabei verbreitet mit grundwasserführenden Sandlagen/-streifen zu rechnen. Im Bereich zwischen Hasselbrook und dem Holstenhofweg (Hochlage des Tertiärs) bildet der das Pleistozän unterlagernde Glimmerschluff einen relativ einheitlich ausgebildeten zusammenhängenden Grundwassernichtleiter.

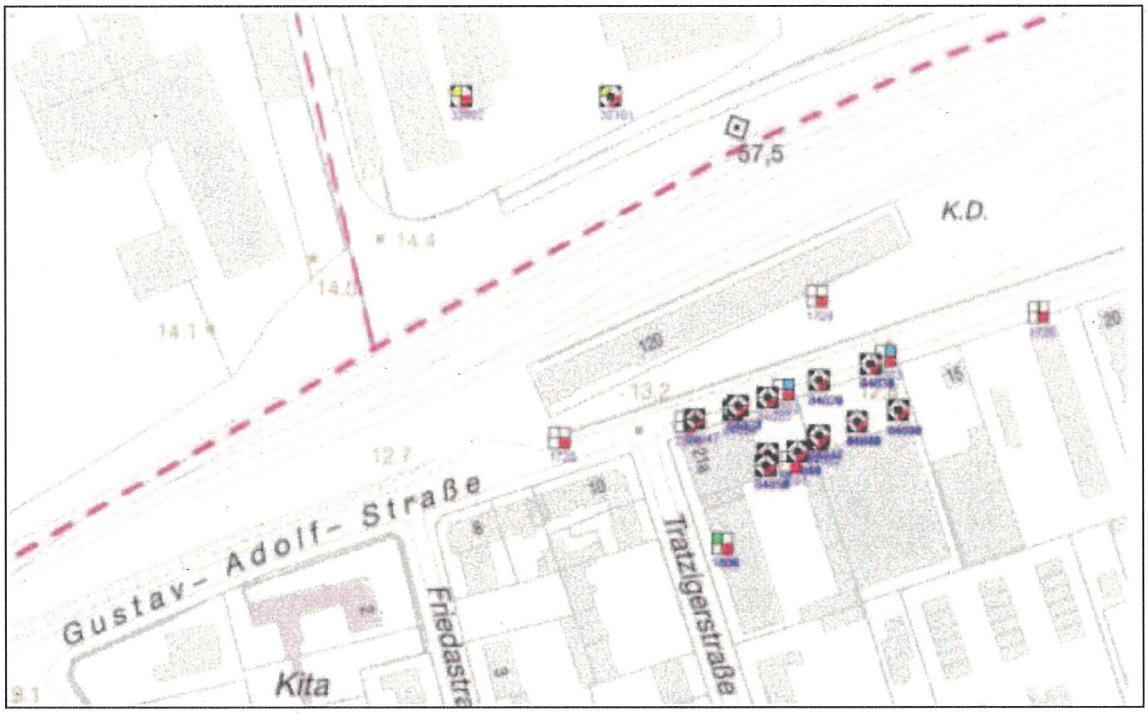
Im Verbreitungsbereich oberflächennaher Grundwasserleiter sind zusammenhängende Grundwasserkörper mit Flurabständen von einigen Dezimetern bis mehreren Metern ausgebildet. Besonders geringe Flurabstände ergeben sich dabei im Bereich des tiefen Einschnittes parallel zu Strecke 1234 bei km 59,263 und der Bachniederung Gehölzgraben.

Wo bindige Böden (Stauhorizonte) oberflächennah anstehen, ist oberhalb des Grundwasserspiegels bzw. Druckspiegels des zusammenhängenden Grundwassers zusätzlich mit dem Auftreten von Schichten- und Stauwasser zu rechnen.

Einen groben Überblick über Versickerungspotenzial, Grundwasserflurabstände und Grundwassergleichen bieten die unter dem Link http://www.hamburg.de/versickerung/ einsehbaren Karten. Die Karten können jedoch nicht das sich auf schwer wasserdurchlässigen Weichschichten niederschlagsbedingt bildende Stauwasser darstellen. Die Bildung von Stauwasser wird erst anhand von Baugrunduntersuchungen ersichtlich.

Verschiedene Grundwassermessstellen im Streckenverlauf des PFA 1 liegen im Bereich Gustav-Adolf-Straße (Bild 3). Details können bei BSU-U11 erfragt werden.

Bild 3 Bestehende Grundwassermessstellen an der Gustav-Adolf-Straße im PFA 1a



bestehende Messstelle genutzte Messstelle rückgebaute Messstelle, Reste im Untergrund möglich

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass für die Gesamtmaßnahme eine detaillierte Untersuchung und Bewertung der hydrogeologischen Verhältnisse ein gesondertes Gutachten, durch einen Sonderfachmann erarbeitet, vorliegt.

4 Feldarbeiten und Laboruntersuchungen

4.1 Felduntersuchungen

4.1.1 Allgemeines

Das Untersuchungskonzept wurde durch die Verfasser auf der Grundlage der Vorplanung [U 2] unter Berücksichtigung der Vorplanungsergebnisse und eigener Recherchen erstellt. Dabei wurde die Anzahl und die Teufen der Aufschlüsse unter Berücksichtigung der Vorgaben der DIN 4020 und des EC 7 festgelegt. Wegen der Dichte der Bauwerke und der Länge der mehrgleisigen Verkehrsanlagen wurde für die erste Aufschlusskampagne eine flächige Erkundung gewählt.

Werden in den laufenden Planungsphasen bis zur Ausschreibung der Bauleistungen signifikante Änderungen gegenüber der Vorplanungsunterlage vorgenommen, sind zusätzliche Bauwerke erforderlich und sind die Ergebnisse der ersten Kampagne für die Planung der Bau- und Endzustände nicht ausreichend, müssen daraus abzuleitende geotechnische Untersuchungen in einer zweiten Aufschlusskampagne geplant und durchgeführt werden.

4.1.2 Durchführung der Felduntersuchungen

Mit der Durchführung der Felduntersuchungen der ersten Bohrkampagne wurde die Firma Kneib Bau- und Bohrgesellschaft mbH & Co. KG aus Ludwigsfelde (Kneib) beauftragt. Für die Durchführung der Drucksondierungen wurde die Firma Geotechnik aus Heiligenstadt unterbeauftragt. Ab Februar 2015 kam als Nachunternehmer für Kleinrammbohrungen und Rammsondierungen die Firma Geotechnik Nord GmbH aus Bargteheide zum Einsatz. Ab März 2015 wurde als weiterer Nachunternehmer die Fa. Keller Grundbau für die Bohrarbeiten vertraglich gebunden.

Die Arbeiten haben am 15.09.14 begonnen und sind im November 2015 abgeschlossen worden. Auf Flächen mit Kampfmittelverdacht wurden die Felduntersuchungen durch einen zugelassenen Feuerwerker begleitet. Dafür hatte Kneib die Firma GFLK aus Schorfheide gebunden.

In der Aufschlusskampagne wurden in der ersten Kampagne ohne Berücksichtigung von Umsetzungen wegen Hindernissen im Untergrund folgende Leistungen erbracht:

- 28 Schürfe (SCH)
- 10 Rammkernbohrungen (B), Außendurchmesser 324 mm mit Gewinnung durchgehend gekernter Proben der Güteklasse 2 oder 3 im Liner mit einem Durchmesser 100 mm, und Teufen zwischen 20 m und 30 m,
- 10 Drucksondierungen (CPT) mit einem Spitzenquerschnitt von 15 cm² mit Teufen zwischen 11,7 m und 25,4 m,

- 180 Kleinrammbohrungen (BS) mit Teufen zwischen 3,0 m und 13,6 m,
- 84 Schwere Rammsondierungen (DPH) mit Teufen zwischen 6,3 m und 16,7 m

Im Zuge der Bohrarbeiten erfolgte die Entnahme von gestörten Bodenproben je lfd. Meter bzw. bei Schichtwechsel.

Es konnten nicht alle geplanten Aufschlüsse ausgeführt werden, da betriebliche Baufreiheiten für Bohrungen im Bahnkörper nicht immer gewährt werden konnten und die örtlichen Verhältnisse dies zum Teil nicht zuließen. Ein weiterer Grund war die Verweigerung der Eigentümer bei Bohrpunkten auf privatem Grund.

Alle niedergebrachten Aufschlusspunkte sind bezüglich ihre Lage in der Unterlage 18.3 gemäß Aufmaß und auf der Grundlage der vom AN übergebenen Koordinaten dargestellt. Die Ergebnisse der Aufschlussarbeiten haben wir auf der Grundlage der Bohrmeister Vor-Ort-Ansprache der Böden und nach Ansprache des Probenmaterials durch geotechnisch erfahrene Mitarbeiter der DB ProjektBau GmbH in Bohrprofilen nach DIN 4023 und Sondierdiagrammen höhengerecht in Baugrundschnitten aufgetragen und in der Unterlage 18.5 abgelegt. Für die Bohrprofile und Sondierdiagramme wurde der Höhenmaßstab 1:100 gewählt; wobei die Aufschlüsse im Schnitt ohne Maßstab dargestellt wurden. Da die Abstände der Aufschlüsse untereinander oft kleiner 50 m betragen, wäre bei maßstäblicher Darstellung die Lesbarkeit wegen Überlagerung der Daten nicht gegeben.

Die vom Bohrunternehmer übergebenen hand- und maschinengeschriebenen Schichtenverzeichnisse und Sondierprotokolle werden beim Verfasser hinterlegt und können bei Bedarf abgefordert werden.

4.2 Laboruntersuchungen

Alle im Zuge der Bohrkampagne entnommenen gestörten und ungestörten Bodenproben bzw. Kerne wurden im Probenlager Ahrensburg durch die Gutachter der DB ProjektBau GmbH bezüglich der bodenmechanischen Eigenschaften angesprochen. Zur Verifizierung der Bodenansprache und als Grundlage für die Klassifizierung der Böden wurden repräsentative Proben ausgewählt und im Labor der Baugrund Stralsund Ingenieurgesellschaft mbH in folgendem Umfang untersucht:

- Körnungslinien[1] 195 Stück
- Zustandsgrenzen[2] 60 Stück
- Glühverluste[3] 14 Stück

---

[1] **Bestimmung der Korngrößenverteilung, Prüfung DIN 18123-5 und DIN 18123-6**
[2] **Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze nach DIN 18122 Teil 1**

- Wassergehalte 80 Stück
- Korndichte[4] 4 Stück
- Dichte des Bodens[5] 2 Stück
- Einaxialer Druckversuch[6] 2 Stück
- Eindimensionaler Kompressionsversuch[7] 5 Stück

Die Protokolle mit den Ergebnissen der bodenmechanischen Laborversuche sind in den Unterlagen 18.6.2 bis 18.6.9 abgelegt. Eine tabellarische Zusammenstellung der Ergebnisse enthält die Unterlage 18.6.1.

Die im Zuge der Bohrarbeiten entnommenen Grundwasserproben, hat die Fa. Kneib im akkreditierten Labor der Eurofins GFA GmbH aus Jena auf die vorgegebenen Parameter untersuchen lassen.

- Einleitparameter 5 Stück
- Betonaggressivität einer Wasserprobe[8] 6 Stück
- Stahlkorrosivität einer Wasserprobe[9] 6 Stück

Die Laborprotokolle der Wasserproben haben wir als Unterlage 18.7 beigefügt.

---

3 **Bestimmung des Glühverlustes, Versuch DIN 18128-GL**
4 **Bestimmung der Korndichte, DIN 18124-KP**
5 **Bestimmung der Dichte des Bodens, DIN 18125-LA**
6 **Einaxialer Druckversuch, DIN 18136-E**
7 **Eindimensionaler Kompressionsversuch nach DIN 18135-K-RF**
8 **Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase, DIN 4030 Teil 1**
9 **Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung, DIN 50929 Teil 3**

5 Darstellung der Ergebnisse

5.1 Baugrundschichten

Nach den Erkundungsergebnissen ist im PFA 1 mit dem Ziel der Baugrundbeurteilung im Wesentlichen zwischen folgenden Böden zu unterscheiden:

- Auffüllungen (ungegliedert/Schotter)
- Sande (Schmelzwassersande)
- Geschiebeablagerungen (Geschiebelehm/Geschiebemergel)
- Beckenablagerungen (Schluff/Beckenschluff bzw. Ton/Beckenton)

Die für den Untersuchungsraum maßgebliche Baugrundschichtung ist in den Baugrundprofilen bzw. Baugrundlängsschnitten der Unterlage 18.5 dargestellt.

5.2 Geotechnische Eigenschaften der Baugrundschichten

Nachfolgend werden die im PFA 1 überwiegend zu erwartenden Böden bezüglich ihrer geotechnischen Eigenschaften allgemein beschrieben. Als Grundlage für dieses Kapitel dient hauptsächlich die Geotechnische Charakterisierung des Hamburger Baugrundes von Friedrich Kausch (Quelle: Internet) – hier insbesondere den für das Untersuchungsgebiet zutreffende Teil nördlich der Elbe -, die mit den Erkenntnissen der eigenen Untersuchungen ergänzt wird.

Die geotechnischen Kennwerte in den Tabellen 5 bis 8 wurden unverändert aus der genannten Quelle entnommen, weil sie typische Grenzen von geotechnischen Kennwerten dokumentieren und auf einer großen Datenbasis beruhen. Kennwerte die im Rahmen der Baugrunduntersuchungen ermittelt wurden, werden im Kapitel 5.3 zusammengestellt.

<u>Auffüllungen</u>

Hierbei sind unterhalb von befestigten Oberflächen im Wesentlichen Mischböden aus Sand, Schluff, organischen Beimengungen, Bauschutt etc. Diese Böden sind sehr heterogen zusammengesetzt und überwiegend locker gelagert. In Industriegebieten sind sie teilweise kontaminiert.

Neben den o.g. Böden kommen im Gleisbereich großflächig Schotter und zum Teil Schutzschichten aus Kies-Sand-Gemischen als Auffüllung vor.

Tabelle 5 Geotechnische Kennwerte der Auffüllungen

Kennwerte	Auffüllung
Feuchtraumwichte γ (kN/m³), lockere Lagerung	16
Feuchtraumwichte γ (kN/m³), dichte Lagerung	18
Reibungswinkel ϕ'(°), lockere Lagerung	27,5
Kohäsion c′ (kN/m²), lockere Lagerung	0
Reibungswinkel ϕ'(°), dichte Lagerung	32,5
Kohäsion c′ (kN/m²), dichte Lagerung	0
Steifemodul E_s (MN/m²), lockere Lagerung	5 - 20

Schmelzwassersande

Die Schmelzwassersande und -kiese der Saaleeiszeit sind weit verbreitet. Sie sind überwiegend meist eng, in der Tiefe zum Teil weit und intermittierend gestuft und weisen damit eine unterschiedlich große Ungleichförmigkeit auf. An ihrer Zusammensetzung haben meist Fein-, Mittel- und Grobsand mit stark variierenden Kornanteilen sowie zum Teil auch Kies- und Steinbeimengungen Anteil. Gelegentlich können innerhalb dieser Sande jedoch auch schluffige Beimengungen vorkommen. In der Regel liegen die eiszeitlichen Sande, abgesehen von der lockeren oberen Bodenzone, in mitteldichter bis dichter Lagerung vor. Örtlich tritt aber auch mehrere Meter mächtiger Sand in lockerer Lagerung auf.

Tabelle 6 Geotechnische Kennwerte weit bis intermittierend gestufter Sande

Kennwerte	Sande, weit bis intermittierend gestuft
Trockenraumwichte γ_d (kN/m³), lockerste Lagerung	15,8 – 19,3
Trockenraumwichte γ_d (kN/m³), dichteste Lagerung	19,4 – 22,3
Porenanteil n (%), lockerste Lagerung	27 - 40
Porenanteil n (%), dichteste Lagerung	16 - 27
Durchlässigkeit k (m/s), lockerste Lagerung	$3x10^{-3}$ bis $6x10^{-5}$
Durchlässigkeit k (m/s), dichteste Lagerung	$2x10^{-3}$ bis $7x10^{-6}$

Diese Durchlässigkeitsbeiwerte gelten für Sande mit Schluffanteilen <10%. Höhere Schluffanteile (z.B. 10 bis 20%) reduzieren die Durchlässigkeit z.B. von $6x10^{-5}$ auf $2x10^{-6}$ m/s bei lockerster Lagerung und von $7x10^{-6}$ auf $1,5x10^{-7}$ m/s bei dichtester Lagerung. Die locker bis dicht gelagerten Sande sind nach DIN 18300 in die Bodenklasse 3 - leicht lösbare Bodenarten einzustufen. Nach DIN 18196 sind die Sande überwiegend den Bodengruppen SE und untergeordnet SW und SI zuzuordnen. Hohe Kies- oder Steinanteile können gelegentlich auch die Zuordnung GW bedingen. Steine und Blöcke sind im Grundbau und Tiefbau häufig Arbeitshindernisse. Die Sande stellen bei mitteldichter Lagerung einen gut tragfähigen Baugrund dar. Wassergesättigte enggestufte und schluffige Sande neigen beim Anschnitt z.B. in Baugruben zum Fließen.

Geschiebelehm

Beim Geschiebelehm, der sowohl an der Geländeoberfläche als auch unter geringer bis einige Meter mächtiger Sandbedeckung auftritt, handelt es sich um weiche bis steife, kalkfreie, tonige Sand-Schluff-Gemenge geringer Durchlässigkeit mit unregelmäßigen Einschaltungen von Kiesen und größeren Steinen (Geschieben). Untergeordnet können innerhalb des Geschiebelehms auch reine Sand- und Kieseinschaltungen vorkommen. Sie können eine gewisse Wasserführung des Geschiebelehms bedingen. In den dem Geschiebelehm auflagernden Sanden kann, insbesondere in niederschlagsreichen Jahreszeiten, Stauwasser auftreten. Der Geschiebelehm stellt bei steifer Konsistenz einen Baugrund von mittlerer Tragfähigkeit dar. Er muss jedoch als frostempfindlicher Boden angesprochen werden, der bei stärker sandiger Ausbildung bei Wasserzutritt und gleichzeitiger mechanisch-dynamischer Beanspruchung (z.B. Befahren mit Baufahrzeugen) zu starken Strukturstörungen bzw. Tragfähigkeitsverlusten neigt. Die sehr sandige Fazies neigt bei Wassersättigung zum Fließen.

Nach DIN 18300 ist Geschiebelehm in die Bodenklasse 4 - mittelschwer lösbare Bodenarten - einzustufen. Entsprechend der Bodenklassifizierung sind sie nach DIN 18196 den Bodengruppen ST*/SU*/TL zuzuordnen.

Tabelle 7 Geotechnische Kennwerte des Geschiebelehmes

Kennwerte	Geschiebelehm
Feuchtraumwichte γ (kN/m³)	19 - 23
Trockenraumwichte γ_d (kN/m³)	16 - 21
Wassergehalt w (%)	8 - 39
Porenanteil n (%)	20 - 51
Reibungswinkel ϕ'(°)	22 - 41 (30,4)
Kohäsion c´ (kN/m²)	0 - 30 (7,8)
Undränierte Scherfestigkeit c_u	10 - 120
Steifemodul E (MN/m²)	
$\sigma = 0{,}1$ MN/m², w = 10%	12
$\sigma = 0{,}1$ MN/m², w = 20%	4,5
Durchlässigkeit k (m/s)	$1{,}5 \times 10^{-8}$ bis $1{,}5 \times 10^{-10}$

Geschiebemergel

Der Geschiebemergel bildet das Liegende des Geschiebelehms. Er ist die weitgehend noch unverwitterte Grundmoräne und weist - bedingt durch den Kalkgehalt - eine überwiegend steife bis halbfeste Konsistenz auf. Er ist schwach durchlässig. Seine Tragfähigkeit ist bei steifer Konsistenz gut und bei halbfester Konsistenz sehr gut zu bewerten. Im Übrigen gelten die für den Geschiebelehm gemachten Aussagen entsprechend. Der saaleeiszeitliche Geschiebemergel wird unterteilt in die Jüngere, Mittlere und Ältere Saalemoräne. Die **Jüngere Saalemoräne** ist in

Regel sehr sandig, ton- und kreidearm ausgebildet. Kalkgehalte liegen zwischen 5 und 15%. Unterhalb des Grundwassers neigt sie zu Fließeigenschaften. Die **Mittlere Saalemoräne** ist deutlich toniger, kalk- und kreidereicher und häufig sehr kompakt aus- gebildet. Der Kalkgehalt liegt zwischen 8 und 26%. Die Ältere Saalemoräne ist eher sandig und ton- und kreidearm. Der Kalkgehalt liegt zwischen 5 und 19%. Unter dem Grundwasserspiegel sind Fließeigenschaften nicht auszuschließen. Gemäß DIN 18300 ist der Geschiebemergel in die Bodenklasse 4 - mittelschwer lösbare Bodenarten - einzustufen. Entsprechend der Bodenklassifizierung sind sie überwiegend den Bodengruppen SU*, ST* und TL, selten TM zuzuordnen.

Tabelle 8 Geotechnische Kennwerte des Geschiebemergels

Kennwerte	Geschiebemergel
Feuchtraumwichte γ (kN/m³)	19 - 23,5
Trockenraumwichte γ_d (kN/m³)	15 - 21,5
Wassergehalt w (%)	7 - 34
Porenanteil n (%)	19 - 47
Reibungswinkel ϕ'(°)	22,7 - 42,5 (32,4)
Kohäsion c' (kN/m²)	0 - 40 (12,3)
Reibungswinkel ϕ'(°)	Jüngere Saalemoräne 29,5 - 40 (33,4)
Kohäsion c' (kN/m²)	0 - 39,3 (5,1)
Reibungswinkel ϕ'(°)	Mittlere Saalemoräne 27 - 39,5 (30,9)
Kohäsion c' (kN/m²)	0 - 46 (10,1)
Reibungswinkel ϕ'(°)	Ältere Saalemoräne 27 - 40 (32,8)
Kohäsion c' (kN/m²)	0 - 50 (7,2)
Undränierte Scherfestigkeit c_u (kN/m²)	26 - 410 (708)
Steifemodul W (MN/m²)	
$\sigma = 0{,}2$ MN/m², w = 10%	45
$\sigma = 0{,}2$ MN/m², w = 20%	30
Durchlässigkeit K (m/s)	Jüngere Saalemoräne 5E-7 bis 3E-9
	Mittlere Saalemoräne 3E-8 bis 2E-11
	Ältere Saalemoräne 2E-9 bis 4E-11

Der Geschiebemergel muss als frostempfindlicher Boden angesprochen werden, der bei stärker sandiger Ausbildung bei Wasserzutritt und gleichzeitiger mechanisch-dynamischer Beanspruchung (z.B. Befahren mit Baufahrzeugen) zu starken Strukturstörungen bzw. Tragfähigkeitsverlusten neigt. Die geotechnischen Kennwerte des Geschiebemergels in der Übersicht zeigt die Tabelle 8.

5.3 Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche

Auf der Grundlage der unter Kapitel 4.2 genannten Laborversuche werden nachfolgend die Ergebnisse für den PFA 1 schichtbezogen zusammengefasst. Alle Ergebnisse der Laborversuche sind in der Zusammenstellung Unterlage 18.6.1 aufgetragen worden.

Schicht Auffüllungen (A)

Die untersuchten aufgefüllten Böden sind erwartungsgemäß sehr heterogen. Die Auffüllungen sind zum Teil sandig, kiesig und zum Teil bindig ausgebildet. Bei den 19 exemplarisch ausgewählten Bodenproben variieren die Feinkorngehalte der Auffüllungen (KornØ < 0,063 mm) zwischen 0 % und 29,6 %, die Sandanteile zwischen 32 % und 92,3 % und die Kiesanteile zwischen 0,8 % und 67,1 %. Wo Schutzschichten unter den Gleisen angetroffen wurden, ergab die Auswertung der Körnungslinien nach DIN 18196 die Bodengruppen GU, GI und SU. Sonst sind aus den Körnungslinien die Bodengruppen SE, SU* und OH abzuleiten. Aufgeschüttete bindige Böden, zum Teil wurde Geschiebelehm/-mergel für Auffüllungen verwendet, wurden nicht untersucht. Wenn plastische Eigenschaften bei diesen Böden bei der Bodenansprache festgestellt wurden, wurde die Konsistenz neben den Bohrprofilen aufgetragen. Die Auffüllungen sind oberflächennah zum Teil mit organischen Anteilen durchsetzt. An 4 Proben wurden exemplarisch die vorhandenen organischen Gehalte mittels Glühverlust bestimmt; sie liegen zwischen 0 und maximal 15,9% bei Wassergehalten zwischen 14,6 % und 57,7 %. Bei einer Probe, die als Schlacke angesprochen wurde, betrug der Glühverlust V_{GL} = 33,3 % bei einem Wassergehalt von 37 %. Nach unserer Einschätzung weisen die oberflächennahen Auffüllungen organische Gehalte bis 5 % auf. Die Schlagzahlen der schweren Rammsondierungen weisen auf lockere bis mitteldichte Lagerung hin. Unter Verkehrsflächen ist infolge der Belastung der obere Meter der Auffüllungen überwiegend mitteldicht gelagert.

Schicht Schmelzwassersande (S)

Von den anstehenden Sanden wurde von insgesamt 73 Proben die Kornverteilung bestimmt. Danach sind bei den Sanden Fein-, Mittel- bis Grobsande mit stark variierenden schluffigen und kiesigen Kornanteilen anzutreffen. Die ermittelten Feinkorngehalte (KornØ < 0,063 mm) der Sande schwanken zwischen 0 und maximal 28,1 % und die Kiesanteile (KornØ >2 mm) zwischen 0 und 34,5 %. Die aus der Kornverteilung abzuleitende Ungleichförmigkeitszahl C_U für die Sande mit Feinkornanteilen bis 5 % liegt zwischen 1,7 und 11,3 und bei den schluffigen Sanden mit Schluffanteilen > 5 % zwischen 2,2 und 51,6.

Die Sande mit erhöhten Schluffgehalten (>20 % bis max. 28 %) zeigen in der Regel kein plastisches Verhalten, so dass Konsistenzgrenzen im Labor nicht bestimmt werden konnten. Oberflächennah angetroffene Sande besitzen teilweise organische Beimengungen bis zu 17,8 %.

Tabelle 9 Laborergebnisse Schmelzwassersande

		Min.	Max.
Ungleichfömigkeit C_U	[-]	1,7	51,6
Tonkornanteil d < 0,002 mm (Cl)	[Masse-%]	0,0	8,3
Schluffkornanteil d = 0,002 - < 0,063 mm (Si)		0,0	28,1
Sandkornanteil d = 0,063 - < 2 mm (Sa)		49,7	100
Kieskornanteil d = 2 - < 63mm (Gr)		0,0	34,5
Organisch Bestandteile (V_{Gl})		1,7	17,8
Durchlässigkeit k_f	[m/s]	$6{,}1*10^{-7}$	$1{,}3*10^{-3}$

An einer ungestörten Sandprobe wurde der Porenanteil n bei natürlicher Lagerung, bei lockerster (max n) und bei dichtester Lagerung (min n) sowie die Porenzahl e bei natürlicher Lagerung, bei lockerster (max e) und bei dichtester Lagerung (min e) ermittelt.

Für den stark feuchten, enggestufte Sand (w = 22,9 %) aus der Bohrung B HH 37 (Teufe 3,7 m - 4,0 m) wurden n = 0,45, bei max n = 0,5 und min n = 0,364 sowie e = 0,817 bei max e = 1 und min e = 0,571 ausgewiesen. Im direkten Scherversuch wurde für diese Sandprobe folgende Scherparameter ermittelt: φ' = 37,6 ° und c' = 0 kN/m².

Schicht Geschiebelehm, -mergel (Lg/Mg)

Die untersuchten Geschiebelehme und -mergel sind nach den Laborergebnissen von 78 untersuchten Proben im Wesentlichen als weich bis steife, teils halbfeste schwach tonige, schluffige Sande und schwach tonige sandige Schluffe jeweils mit Kiesanteilen zwischen 1 % bis knapp 10 % zu beschreiben, aber auch als Sand-Schluff- (SU) bzw. Sand-Tongemische (ST) zu klassifizieren. Die verschiedenen Anteile der Korngrößenbereiche und die aus der Konsistenzbestimmung ermittelten Parameter sind in der Tabelle 10 zusammengestellt. Wegen des meist hohen Sandanteiles ist eine geringe Plastizität feststellbar; der Mittelwert aus 40 Proben liegt bei I_P = 9,74. Bei drei Proben wurde organische Anteile als Glühverlust V_{Gl} zwischen 1,5 % und 5,3 % ermittelt, die als unbedeutend zu bewerten sind.

An einer für den Geschiebemergel typischen Probe weicher Konsistenz (I_C = 0,65) wurde mit dem Rahmenschergerät zur Bestimmung der Scherfestigkeit ein konsolidierter, dränierter direkter Scherversuch durchgeführt. Die Scherfestigkeit c' wurden mit 75 kN/m² bei einem Reibungswinkel von 35,5° bestimmt.

Ferner wurde bei zwei weiteren Proben weicher Konsistenz die einaxiale Druckfestigkeit ermittelt. Dabei wurde für die Probe mit I_C = 0,53 ein q_u = 48 kN/m², daraus lässt sich die undränierte Scherfestigkeit c_u = 24 kN/m² ableiten und für die Probe mit I_C = 0,64 ein q_u = 142 kN/m², daraus lässt sich die undränierte Scherfestigkeit c_u = 71 kN/m² ableiten, ermittelt

Tabelle 10 Laborergebnisse Geschiebelehm, -mergel

		Min.	Max.
Ungleichfömigkeit C_U	[-]	4,0	112,3
Tonkornanteil d < 0,002 mm (Cl)	[Masse-%]	1,8	20,9
Schluffkornanteil d = 0,002 - < 0,063 mm (Si)		16,1	48,9
Sandkornanteil d = 0,063 - < 2 mm (Sa)		35,4	75,2
Kieskornanteil d = 2 - < 63mm (Gr)		0	12,3
Durchlässigkeit k	[m/s]	$1{,}2*10^{-9}$	$2{,}3*10^{-6}$
Wassergehalt w	[%]	10,2	26,6
Fließgrenze w_L		13,8	31,6
Ausrollgrenze w_P		9,0	17,1
Plastizitätszahl $I_P=w_L-w_P$		3,94	15,8
Konsistenzzahl I_c*	[-]	0,47	1,05

* Die Konsistenzzahl bezogen auf die Gesamtprobe (ohne Absiebung des Überkornanteiles) ist in der Regel eine Stufe höher in Richtung steif bzw. halbfest anzunehmen.

Zur Ermittlung der Zusammendrückbarkeit der oberen Geschiebeablagerungen wurden exemplarisch drei eindimensionale Kompressionsversuche im Ödometergerät durchgeführt. Die Laststufen, mit denen die ungestört entnommenen Proben beaufschlagt wurden, und die daraus abgeleiteten Steifemoduli sind in der Tabelle 11 zusammengestellt.

Tabelle 11 Zusammenstellung der Steifemoduli aus eindimensionalem Kompressionsversuch

Laststufe [kN/m²] \ Probe	B HH 33 4,0-4,3 m TL	B HH 36 4,3-4,6 m ST*, TL	B HH 37 5,3-5,6 m ST*, TL	B HH 44 13,75-14,0 m ST*, TL	B HH 44 29,10-29,40 m TM
Erst 0 - 50 kN/m²	1,6 kN/m²	1,4 kN/m²	1,5 kN/m²	4,2 kN/m²	1,7 kN/m²
Erst 50 - 100 kN/m²	6,9 kN/m²	7,7 kN/m²	7,9 kN/m²	13,6 kN/m²	12,6 kN/m²
Erst 100 - 200 kN/m²	7,4 kN/m²	8,7 kN/m²	8,4 kN/m²	15,8 kN/m²	12,7 kN/m²
Erst 200 - 400 kN/m²	10,5 kN/m²	16,1 kN/m²	12,9 kN/m²	17,0 kN/m²	16,1 kN/m²
Erst 400 - 500 kN/m²	18,9 kN/m²	30,2 kN/m²	n.b.	n.b.	27,1 kN/m²
Wieder 400 - 800 kN/m²	n.b.	n.b.	32,4 kN/m²	28,5 kN/m²	n.b.

n.b. = nicht bestimmt

Schicht Beckenablagerungen (BU/BT)

Die vorhandenen Beckenablagerungen sind nach DIN 4022 bodenmechanisch überwiegend als Schluffe bzw. Tone einzustufen. Sie besitzen meist feinsandige Beimengungen. Die in insgesamt 18 Sieb-/Schlämmanalysen ermittelten Feinkorngehalte (KornØ < 0,063 mm) liegen bei 61,1 % bis 95,8 %. Die an einer Probe bestimmte Korndichte beträgt 2,68. g/cm³.

Zur Feststellung des plastischen Verhaltens und zur Zustandsbestimmung wurden an ausgewählten Bodenproben Wassergehalte und Konsistenzgrenzen nach Atterberg bestimmt. Gegenüber den Geschieben ist eine signifikant höhere Plastizität nachgewiesen worden. Die Beckenablagerungen sind bei einem Mittelwert der Plastizitätszahl von I_P = 18,1 mittelplastisch zu klassifizieren. Die Spanne der Konsistenzen reicht von weich bis halbfest. Der Mittelwert von 10 Untersuchungen bei den Konsistenzen beträgt I_C = 0,89 (steif).

In der Tabelle 12 sind die wesentlichen Laborergebnisse zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 12 Laborergebnisse Beckenablagerungen

		Min.	Max.
Ungleichfömigkeit C_U	[-]	3,1	21,0
Tonkornanteil d < 0,002 mm (Cl)	[Masse-%]	2,5	49,6
Schluffkornanteil d = 0,002 - < 0,063 mm (Si)		26,5	80,9
Sandkornanteil d = 0,063 - < 2 mm (Sa)		4,2	38,9
Kieskornanteil d = 2 - < 63mm (Gr)		0	0,4
Durchlässigkeit k	[m/s]	$1,7*10^{-9}$	$8,7*10^{-7}$
Wassergehalt w	[%]	18,1	26,4
Fließgrenze w_l		28,5	56,3
Ausrollgrenze w_P		17,0	22,3
Plastizitätszahl $I_P=w_L-w_P$		11,54	35,19
Konsistenzzahl I_c	[-]	0,64	0,93

5.4 Klassifizierung/ Baugrundmodell

Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse wird ein Baugrundmodell erstellt. Dabei werden Böden mit annähernd gleichen bodenphysikalischen und bodenmechanischen Eigenschaften in Schichten zusammengefasst. Des Weiteren werden den Schichten ausgewählte Klassifizierungen zugeordnet. Die Einteilung der Böden in Homogenbereiche gemäß VOB in der Fassung 2015 erfolgt erst vor der Ausschreibung der Bauleistungen nach Abstimmung mit den jeweiligen Fachplanern und Festlegung der Bauverfahren.

Es werden nur die maßgebenden Bodenarten und Schichteinlagerungen genannt. Tragschichten des Straßenaufbaus, lokale Oberflächenbefestigungen usw. werden hier vernachlässigt. Diese Angaben wurden rechts neben den Bohrprofilen (Unterlage 18.5) aufgetragen.

Auffüllung, Schicht A:

Beschreibung	Sand, z.T. schwach schluffig bis stark schluffig, z.T. kiesig, z.T. schwach tonig; Kies, stark sandig, z.T. schwach schluffig; oberflächennah z.T. mit organische Beimengungen; bindige weiche bis steife Einschaltungen in Lagen zwischen Zentimeter bis mehrere Dezimeter Mächtigkeit
Bodengruppe DIN 18196	SE, SU, SU*, ST*, GU, GI
Bodenklasse DIN 18300	3, 4
Lagerung/Konsistenz	locker bis mitteldicht gelagert
Erosionsempfindlichkeit	erosionsempfindlich sind enggestuft und schluffige Sande
Durchlässigkeit DIN 18130-1	durchlässig, SU*/ST* schwach durchlässig
Frostempfindlichkeit ZTVE-StB	SE, GI: F1 SU: F2 SU*, ST*: F3
Rammbarkeit, schlagend	leicht bis mittel

Schmelzwassersand/Sand, Schicht S:

Beschreibung	Fein-, Mittel- bis Grobsande mit stark variierenden schluffigen und kiesigen Kornanteilen; in der Regel kein plastisches Verhalten, oberflächennah z.T. mit organische Beimengungen; überwiegend mitteldicht, bereichsweise locker und dicht gelagert
Bodengruppe DIN 18196	SE, SU, in Lagen auch SI/GE/GW/UL/SU*
Bodenklasse DIN 18300	3, 4
Durchlässigkeit DIN 18130-1	Durchlässig; UL/SU* schwach durchlässig
Frostempfindlichkeit ZTVE-StB	F1, (F2)
Rammbarkeit, schlagend	mittel bis schwer

Geschiebemergel / -lehm, Schicht Mg/Lg:

Beschreibung	Sand, schluffig bis stark schluffig, schwach tonig, schwach kiesig und Schluff, sandig bis stark sandig, schwach tonig; weich bis halbfeste Konsistenz, meist geringe Plastizität; Mg kalkhaltig, sonst kalkfrei; Mg mit Einschaltungen aus Sand-, Kies-, und Gerölllagen in Zentimeter bis Dezimetermächtigkeit; bei weicher Konsistenz gering tragfähig, sonst tragfähig
Bodengruppe DIN 18196	SU*, ST*, TL
Bodenklasse DIN 18300	4, in Lagen 3/5
Durchlässigkeit DIN 18130-1	schwach durchlässig , über Sandbänderungen durchlässig
Frostempfindlichkeit ZTVE-StB	F3
Rammbarkeit, schlagend	schwer, Rammhindernisse durch Gerölllegen und Findlinge möglich

Beckenton, Schicht BT:

Beschreibung	Ton, schluffig, sandig, weich bis steif, gering tragfähig bis tragfähig
Bodengruppe DIN 18196	TM, TA
Bodenklasse DIN 18300	4, 5
Durchlässigkeit DIN 18130-1	schwach durchlässig
Frostempfindlichkeit ZTVE-StB	F2
Rammbarkeit, schlagend	mittel bis schwer

Beckenschluff, Schicht BU:

Beschreibung	Schluff, stark feinsandig bis Feinsand, stark schluffig; in Zentimeter bis Dezimetermächtigkeit; keine bis geringe Plastizität
Bodengruppe DIN 18196	UL (SU* und U ohne plastische Eigenschaften)
Lagerung/Konsistenz	4
Erosionsempfindlichkeit	erosionsempfindlich
Durchlässigkeit DIN 18130-1	schwach durchlässig
Frostempfindlichkeit ZTVE-StB	F3
Rammbarkeit, schlagend	mittel bis schwer

Die detaillierte Bodenansprache kann den Bohr- und Sondierprofilen (Unterlage 18.5) entnommen werden. Eine Unterteilung der Schichten in Abhängigkeit von der differierenden Lagerungsdichte bzw. ihrer Festigkeit erfolgt in den Rechenwerttabellen, den Berechnungsprofilen (Anhänge) und den Baugrundschnitten (Unterlage 18.5).

5.5 Wasser im Baugrund

Wenn in den Kleinrammbohrungen (BS) und Rammkernbohrungen (B) Grundwasser angetroffen wurde, wurden die Koten der Grundwasseranschnitte durch die Bohrmeister bezogen auf die Geländeoberfläche am Ansatzpunkt des Aufschlusses eingemessen und durch die Verfasser links neben den Bohrprofilen (Unterlage 18.5) aufgetragen.

Weitergehende Daten das Grundwasser betreffend sind im Hydrogeologischen Gutachten der Baugrund Stralsund GmbH niedergeschrieben. Darin sind u.a. die Bohrwasserstände der Aufschlusskampagne 2014/2015 in hydrogeologischen Längsschnitten verarbeitet worden.

Grundsätzlich kann nach der Auswertung der Grundwassergleichenpläne für die höchsten Grundwasserstände des hydrologischen Jahres 2008 geschlussfolgert werden, dass großräumig beginnend in Hasselbrook der entspannte Grundwasserhorizont von der Kote 9 m NN mit dem Verlauf der Strecke bis etwa zur Claudiusstraße bei ca. km 58,800 auf 11 m NN ansteigt. Im weiteren Verlauf fällt die Kote etwa bis zur Bovestraße wieder auf rd. 8,5 m NN. Bis zur PFA-Grenze nahe der Luetkensallee folgt der Grundwasseranstieg bis zur Kote 12 m. Nicht in den Grundwassergleichenplänen verzeichnet sind die permanenten Grundwasserabsenkungen am Kreuzungsbauwerk über die Strecke 1234 bei km 59,263 und an der EÜ Bovestraße

km 57,849, die lokal zu Absenkungstrichtern führen und deren Wirkung bei den Aufschlüssen durch deutlich tiefere Grundwasseranschnitte bestätigt wurde. Wo der entspannte Grundwasserhorizont in den als Grundwasserleiter zu beurteilenden Schmelzwassersanden liegt (PFA-Anfang in km 59,709 bis km 58,400 und km 58,250 bis km 57,250), wurden während der Aufschlusskampagne die Tagwasserstände zwischen etwa 1 m bis 3 m und lokal auch deutlich tiefer unter den Isolinien der Grundwassergleichenpläne eingemessen. Wo der Geschiebelehm-/mergel als Grundwasserstauer bis nah an den Bahnkörper reicht, sind auch Wasserstände über den Grundwassergleichen eingemessen worden. Wegen der geringen Durchlässigkeit muss zu Zeiten mit größeren Niederschlagsmengen mit temporärer Stauwasserbildung über den Geschiebeböden gerechnet werden. Das haben die Aufschlüsse auch so bestätigt. Bei Stauwasserbildung kann nicht permanent sichergestellt werden, dass der Grundwasserspiegel sich dauerhaft unter 1,50 m unter Schienenoberkante einpegelt.

5.6 Grundwasseranalytik

5.6.1 Beton- und Stahlaggressivität

Im Zuge der Feldarbeiten wurden im PFA 1 insgesamt 6 Wasserproben entnommen und auf Betonangriffsgrad und Korrosionswahrscheinlichkeit im akkreditierten Labor der Eurofins Umwelt Ost GmbH untersucht. Die Analyseergebnisse sind in der Tabelle 13 zusammengestellt.

Tabelle 13 Betonangriffsgrad und Korrosionswahrscheinlichkeit von Grundwasserproben

Entnahmestelle	Betonangriffsgrad (DIN 4030-1)	Beurteilung der Wasserprobe (nach DIN 50929 Teil 3)			
		Korrosionswahrscheinlichkeit			
		im Unterwasserbereich		an der Luft/Wasser-Grenze	
		bei Mulden- und Lochkorrosion	Flächenkorrosion	bei Mulden- und Lochkorrosion	Flächenkorrosion
B HH 35, km 57,861 br	n.B.a.	sehr gering	sehr gering	sehr gering	sehr gering
B HH 36, km 58,147 bl	n.B.a.	sehr gering	sehr gering	gering	sehr gering
B HH 37, km 58,155 br	n.B.a.	sehr gering	sehr gering	sehr gering	sehr gering
B HH 40, km 58,630 bl	n.B.a.	gering	sehr gering	gering	sehr gering
B HH 42 km 58,800 bl	n.B.a.	gering	sehr gering	gering	sehr gering
B HH 44, km 59,240 br	n.B.a.	sehr gering	sehr gering	gering	sehr gering

n.B.a. nicht Beton angreifend bl: bahnlinks br: bahnrechts

5.6.2 Einleitparameter

Bei der Planung der Ingenieurbauwerke ist das Erfordernis von Grundwasserabsenkungen in Abhängigkeit vom jeweiligen Grundwasserstand und der Kote der Baugrubensohlen zu prüfen. Wird Grundwasser abgesenkt, muss das geförderte Wasser in eine Vorflut geleitet werden. Die zustimmungspflichtige Einleitung erfolgt in Hamburg in der Regel in Schmutz- oder Mischwassersiele. Die Siele müssen auch in Anspruch genommen werden, wenn die zu planende Entwässerung des Bahnkörpers nicht über unmittelbare Versickerung in den Untergrund bzw. über die Ableitung zu Versickeranlagen sichergestellt werden kann. In § 11 Absatz 2 Hamburgisches Abwassergesetz sind die Anforderungen an die Beschaffenheit des Abwassers für die Einleitung in die o.g. Siele oder in öffentliche Gewässer definiert.

Die im Zuge der Feldarbeiten an Brückenstandorten entnommenen 5 Grundwasserproben aus den Baugrundbohrungen (Tabelle 14) wurden durch die Fa. Kneib in akkreditierte Labors der Eurofins GmbH versandt, die das Wasser auf die Einleitparameter analysiert hat.

Tabelle 14 Ergebnisse Bestimmung der Einleitparameter der Wasserproben

Stationierung (Strecke 1120)	bahnlinks (Südseite)	bahnrechts (Nordseite)	Parameter bei Grenzwertüberschreitung
	Probenbezeichnung		
km 57,861		B HH 35	Dichlormethan *
km 58,147	B HH 36		Trichlormethan
km 58,155		B HH 37	Dichlormethan *, absetzbare Stoffe
km 58,800	B HH 42		Dichlormethan *, absetzbare Stoffe
km 59,240		B HH 44	Dichlormethan *

* Einleit-Grenzwert < Bestimmungsgrenze für Parameter Dichlormethan

Alle Ergebnisse der untersuchten Parameter sind in der Unterlage 18.7.3 zusammengestellt. Parameter, die die Grenzwerte in die Siele bzw. in den Gehölzgraben überschreiten, sind in der Tabelle rot hinterlegt.

5.7 Charakteristische Bodenkennwerte

Für die angetroffenen Böden im PFA 1 können für erdstatische Berechnungen die in der Tabelle 15 aufgeführten charakteristischen Werte herangezogen werden. Die Werte sind Erfahrungswerte.

Tabelle 15 Charakteristische Bodenkennwerte

Schichtmodell				Charakteristische Bodenkennwerte [1]				
				γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ'_k [°]	c'_k / $c_{u,k}$ [1] [kN/m²	$E_{s,k}$ [MN/m²]
Auffüllung	h, künstlich	unbrauchbar	A	14 - 16	4 - 6	-	-	-
	ohne plast. Eigenschaften	locker	A,lo	17,0	9,0	30,0	0/0	7,5 -15
		mitteldicht	A,md	18,0	10,0	30,0	0/0	15 - 30
	mit plast. Eigenschaften	weich	A,we	17,0	9,0	25,0	5/25	5
		steif	A,st	18,0	10,0	27,5	5/40	10
Sand (Schmelz-wassersand)	ohne plast. Eigenschaften	locker	S,lo	17,0	10,0	30,0	0/0	7,5 -15
		mitteldicht	S,md	17,5	10,5	32,5	0/0	15 - 30
		dicht	S,d	18,0	11,0	35,0	0/0	30 - 50
Geschiebe-lehm	leicht plastisch ST*/TL	breiig	Lg,br	18,0	9,0	22,5	0/10	1 - 2
		weich	Lg,we	19,0	10,0	25,0	5/25	10 - 20
		steif	Lg,st	20,0	10,5	27,5	10/50	15 - 25
		halbfest	Lg,hf	21,0	11,0	27,5	15/100	25 - 35
Geschiebe-mergel	leicht plastisch ST*/TL	breiig	Mg,br	18,0	9,0	25,0	0/10	1 - 2
		weich	Mg,we	19,0	10,0	27,5	5/25	15 - 25
		steif	Mg,st	20,0	10,5	30,0	10/60	20 - 35
		halbfest	Mg,hf	21,0	11,0	30,0	15/120	30 - 60
organog. Böden	V_{gl} < 20 % OH	nicht bindig	O,nb	16,0	8,0	27,5	-	5
		bindig	O,b	17,0	7,0	22,5	-	3
Beckenton	TL/TM	weich	BT,we	18,5	8,5	20,0	5/20	5
		steif	BT,st	19,5	9,5	20,0	10/50	20
Becken-schluff	UL/UM	weich	BU,we	19,0	9,0	27,5	2/10	5
		steif	BU,st	19,5	9,5	27,5	5/25	7,5
Tertiärton	glimmerhaltig TM	weich	TT,we	19,0	9,0	22,5	10/	10
		steif	TT,st	20,0	10,0	25,0	20/	20
		halbfest	TT,hf	21,0	11,0	27,5	20/	30

1) Die Werte sind auf der sicheren Seite liegende Werte und gelten für die Gesamtmaßnahme. Für Bauwerksstandorte werden soweit möglich in den jeweiligen Anhängen standortbezogene Kennwerte angegeben.

Für erdstatische Berechnungen von Ingenieurbauwerken werden in den Anhängen bauwerks-bezogene Kennwerte angegeben. Werden bei der weiteren Planung Bodenkennwerte für lokal anstehende Böden benötigt, die nicht in der Tabelle erfasst sind, bitten wir um Rücksprache beim Verfasser.

6 Geotechnische Kategorien

Die im Zuge der Baumaßnahme zu planenden Verkehrsanlagen und Ingenieurbauwerke sind gemäß EC 7 / DIN EN 1997-1 in Geotechnische Kategorien (GK) einzustufen. Mit der Einstu-

fung werden Mindestanforderungen an Umfang und Qualität von geotechnischen Untersuchungen, Berechnungen und der Bauüberwachung in Abhängigkeit von der Schwierigkeit der baulichen Unterlage und des Baugrundes festgelegt.

Die **Geotechnische Kategorie GK 1** umfasst Baumaßnahmen mit geringem Schwierigkeitsgrad im Hinblick auf Bauwerk und Baugrund. D.h.:

- Es besteht keine Gefährdung durch Geländebruch oder Bewegungen im Baugrund.
- Es liegen vergleichbare örtliche Erfahrungen vor.
- Der Baugrund liegt in waagerechtem oder schwach geneigtem Gelände und kann nach gesicherter örtlicher Erfahrung als tragfähig und setzungsarm beurteilt werden.
- Baugrubensohlen liegen oberhalb des Grundwasserspiegels bzw. Aushub im Grundwasser ist nach vergleichbarer örtlicher Erfahrung unbedenklich.

Bei diesen Voraussetzungen dürfen Planung und Bemessung nach routinemäßigen Verfahren (i.d.R. ohne rechnerische Nachweise) erfolgen.

In diesem Projekt sind die folgenden Baumaßnahmen in die GK 1 einzustufen:

- Dämme auf tragfähigem Baugrund bis 3 m Höhe,
- Gebäude mit Flächengründung (Einzel- und Streifenfundamente) auf tragfähigem Baugrund (z.B. ESTW-A) gemäß DIN EN 1997-1, Ziffer A 6.10,
- Stützbauwerke bis 2 m Höhe des Geländesprunges ohne höhere Auflasten und
- der Bahnkörper mit seinen Tragschichten auf tragfähigem Unterbau/Untergrund.

Die **Geotechnische Kategorie GK 2** umfasst Baumaßnahmen mit mittlerem Schwierigkeitsgrad und die eine ingenieurmäßige Bearbeitung und rechnerische Nachweise der Standsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit erfordern. Sie gilt für konventionelle Gründungen und Bauwerke ohne ungewöhnliches Risiko oder schwierige Baugrund- und Belastungsverhältnisse. D.h.:

- Das Grundwasser bzw. die freie Wasseroberfläche liegt über der Baugrubensohle.
- Grundwasserzutritte bzw. Wasserhaltungen sind mit üblichen Maßnahmen beherrschbar.
- Der Baugrund ist regelmäßig geschichtet.
- Organische und organogene Böden sind gering mächtig und vorbelastet.

Bei diesen Voraussetzungen sollen für die Planung und Bemessung geotechnische Kennwerte für die Nachweise bzw. Berechnungen ausgewiesen werden.

In diesem Projekt sind die folgenden Baumaßnahmen in die GK 2 einzustufen:

- Bauwerke für die ein Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen erforderlich ist (z.B. Fußgängertunnel und Rampen bei Grundwasserständen deutlich über der Tunnelsohle, Dichtsohlen in Baugruben ohne Grundwasserabsenkung).
- Temporäre Verankerungen (Kurzzeitanker) für z.B. Baugrubensicherungen, Hilfsbrückengründungen
- Auf Druck beanspruchte Pfahlgründungen mit Ermittlung der Widerstände nach Erfahrungswerten gemäß DIN EN 1997-1:2009-09, 7.6.2.3 (z.B. EÜ's, Hilfsbrückengründungen)
- Horizontalbohrungen (z.B. für den Kabeltiefbau)
- Stützbauwerke über 2 m Höhe des Geländesprunges (z.B. an den Bahngärten/Bovestraße).

Die **Geotechnische Kategorie GK 3** umfasst Baumaßnahmen mit hohem Schwierigkeitsgrad, die nicht in die GK 1 bzw. GK 2 zugeordnet werden. Die GK 3 gilt für Baugrund in regelloser Schichtung, für Böden die zum Kriechen oder Fließen neigen, für weiche organische und organogene Böden, die in großer Mächtigkeit anstehen. Gespanntes Grundwasser, das durch Bodenabtrag zu artesischem Grundwasser werden kann, ist auch der GK 3 zuzuordnen.

In diesem Projekt sind nach aktuellem Planungsstand die folgenden Baumaßnahmen in die GK 3 einzustufen:

- Quer zur Pfahlachse belastete Pfähle (z.B. Lärmschutzwände und Sonderbauwerke für LSW).

7 Schlussfolgerungen und Gründungsempfehlungen Erdbauwerke

7.1 Grundsätze

7.1.1 Anforderungen an Schutz- bzw. Tragschichten

Schutzschichten bzw. Tragschichten unter dem Schotter sind gemäß Ril 836 [U 8] bei Neubau- und Ausbaustrecken als Regel vorzusehen. Schutzschichten sind in Abhängigkeit von unter dem Planum anstehenden, für die Aufschüttung gewählten Böden bzw. von geplanten Bodenverbesserungsmaßnahmen auf Tragfähigkeit und Frostsicherheit zu bemessen. Nach dem Regelwerk der DB AG dürfen für Schutzschichten güteüberwachte Korngemische nach DBS 918062 und bei mehrlagigen Schutzschichten unter der oberen Lage auch Mineralgemische nach ZTV SoB verwendet werden.

Auf Schutzschichten kann bei Maßnahmen im Bestand nur verzichtet werden, wenn unter dem Schotter o.g. Schutzschichten gleichwertige Böden/Mineralgemische anstehen und der Verzicht gutachtlich begründet wird.

In den Tabelle 16 und 17 werden die Anforderungen gemäß Ril 836 in Abhängigkeit von der am jeweiligen Abschnitt geltenden Höchst- bzw. zulässigen Geschwindigkeit zusammengestellt.

Sie gelten für den Neubau der Strecke1249 und auch für Maßnahmen im Bestand der Strecke 1120, wenn die Umbaulänge mehr als 250 Meter beträgt und der Unterbau verstärkt werden muss, weil die angetroffenen Böden bzw. Tragschichten nicht ausreichend tragfähig bzw. nicht die Anforderungen an Tragschichten nach DBS 918062 erfüllen.

Tabelle 16 Anforderungen an den Unterbau/Untergrund Strecke 1249 (Neubau)

	Anforderungen an die Verdichtung	Anforderungen an den Verformungsmodul
Einstufung (v = HG V_{zG} für durchgehende Hauptgleise, sonst örtlich zulässige v)	80 km/h < v < 160 km/h	
Abzusichernder Tragbereich [1] (Tiefe u. SO)	2,0 m	
Verdichtung D_{Pr}	97% (GW, GI, GE, SW, SI, SE, GU, GT, SU, ST, OK) 95%, n_A < 12% (GU*, GT*, SU*, ST*, U, T) bis Dammsohle	
Regelwert E_{V2}/E_{vd} [3) 4)] **in MN/m² OK Schutzschicht (OFTS)**		100/45
Regelwerte E_{V2}/E_{vd} Planum Neuschüttungen wie Neubau		45/30
Untergrund/bestehender Unterbau (im Druckbereich bis zur Tiefe des abzusichernden Tragbereiches)[2]	mindestens steif (Konsistenz I_C > 0,75 für bindige Böden) bzw. mitteldicht (Lagerungsdichte D > 0,3 bei U < 3 bzw. D > 0,45 bei U > 3 für nichtbindige Böden)	

Tabelle 17 Anforderungen an den Unterbau/Untergrund für Gleisen mit max. v = 80 km/h

	Anforderungen an die Verdichtung	Anforderungen an den Verformungsmodul
Einstufung (v = HG V_{zG} für durchgehende Hauptgleise, sonst örtlich zulässige v)	v ≤ 80 km/h	
Abzusichernder Tragbereich [1] (Tiefe u. SO)	1,5 m	
Verdichtung D_{Pr} (neu herzustellender Unterbau)	97% (GW, GI, GE, SW, SI, SE, GU, GT, SU, ST, OK) 95%, n_A < 12% (GU*, GT*, SU*, ST*, U, T) bis Dammsohle	
Regelwert E_{V2}/E_{vd} in MN/m² OK Schutzschicht (OFTS)		80/40
Regelwerte E_{V2}/E_{vd} [3) 4)] **Planum Neuschüttungen wie Neubau**		(45/25)
Untergrund/bestehender Unterbau (im Druckbereich bis zur Tiefe des abzusichernden Tragbereiches)[2]	mindestens weich (mit I_C > 0,6) bzw. locker (mit D > 0,2)	

1) Als abzusichernder Tragbereich ist die gesamte Planumsbreite, unter Berücksichtigung des Druckausbreitungswinkels, anzusetzen. Für die erforderliche Breite des Bodenaustausches im Bestand siehe Ril 836.4103 Abs. 4(7).
2) für Bodengruppen entsprechend ZTVE-StB Tab. 2, kann nach Maßgabe des geotechnischen Gutachters auch abweichend festgelegt werden. Bei Vorhandensein der entsprechenden Lagerungsdichte und/oder Konsistenz kann von einem für einen gebrauchstauglichen Fahrweg ausreichend tragfähigen Untergrund ausgegangen werden, wenn die Entwässerung gewährleistet ist.

3) Bei Neuschüttungen im Zuge von Verbesserungsmaßnahmen gelten die Regelwerte des Neubaus. Die Richtwerte für die Verbesserung sind für den Druckausbreitungsbereich maßgebend. - Die Regelwerte (Neubau) auf dem Planum sollen erfüllt werden. Die Regelwerte der Verbesserung sollen angestrebt werden, um nach Ril 836.4101A02 eine möglichst dünne Tragschichtdicke zu erreichen. Im Rahmen der geotechnischen Bewertung können ortspezifisch Kontroll- bzw. Prüfwerte neu festgelegt werden, z.B. können die Eingangswerte E_{Pl} für die Dickenbestimmung (siehe Ril 836.4105A05) angesetzt werden oder der sich aus der Rückrechnung ergebende E_{Pl} für eine vorgesehene Dicke.
4) E_{vd}-Werte gelten für gemischt- und feinkörnige Böden, Werte für grobkörnige Böden sind um jeweils 5 MN/m² zu erhöhen.

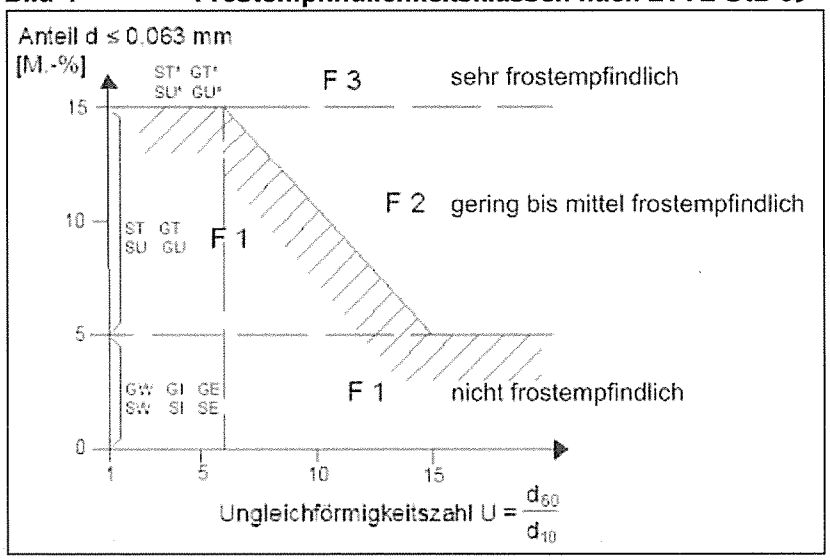
7.1.2 Grundsätze bei der Bemessung auf Frost

Nach der Ril 836.4101A04 liegt die gesamte Baumaßnahme im Frosteinwirkungsgebiet II. Die Dicke des frostsicheren Aufbaus ist neben dem Geschwindigkeitsbereich, mit dem das jeweilige Gleis zu befahren ist, auch von der Frostempfindlichkeitsklasse des Bodens unter dem Planum abhängig bzw. der geplanten Bodenverbesserungsmaßnahme.

Die Klassifizierung der Böden in Frostempfindlichkeitsklassen erfolgt gemäß ZTVE-StB 09.

Mit welcher Dicke qualifizierte Bodenverbesserungsmaßnahmen bzw. Bodenverfestigungen auf den frostsicheren Aufbau anzurechnen sind, ist in der Ril 836.4101A02, Hinweise: 4) und 7)ff nachzulesen.

Bild 4 Frostempfindlichkeitsklassen nach ZTVE-StB 09



Für Gleise im Geschwindigkeitsbereich v > 80 km/h bis 160 km/h ist zur Gewährleistung eines frostsicheren Aufbaus nach 836.4101A02, Tabelle 1, Zeile 1.1.2 bei 30 cm Schotter unter Unterkante Schwelle eine frostsichere mineralische Tragschicht von mindestens d = 35 cm bei Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F1/F2 und von mindestens d = 45 cm bei Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F3 erforderlich. Wird frostempfindlicher Boden (F3) unter dem Planum qualifiziert verbessert, ist dann eine Reduktion der mineralischen Tragschicht auf d = 35 cm zulässig.

Bei Gleisen im Geschwindigkeitsbereich v ≤ 80 km/h (ggf. Bahnhofsgleise) sind Tragschichten d = 25 cm bei Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F1/F2 und von mindestens d = 35 cm bei Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F3 zulässig. Auch hier kann durch qualifizierte Bodenverbesserung die Tragschicht um 10 cm reduziert werden.

7.1.3 Grundsätze bei der Bemessung auf Tragfähigkeit

Bei der Bemessung der Tragschichtdicke sind die Ausgangstragfähigkeiten auf dem Planum und die hydrologischen Bedingungen (nach 836.4101A05 (2)) zu berücksichtigen. Die Ausgangstragfähigkeit darf unter Anwendung der Tabelle Richtgrößen für den Berechnungsmodul (Tabelle 18) festgelegt werden. Maßgeblich für die Ableitung des Berechnungsmoduls ist der Bereich zwischen 70 cm unter SO (Unterkante Regelschotterdicke) bis etwa 1,6 m unter SO zu betrachten. Bis in diese Tiefe beeinflussen die Baugrundverhältnisse das Ergebnis einer Tragfähigkeitsmessung mit Prüfplatte Ø =30 cm unabhängig vom Prüfverfahren. Stehen im Untergrund bzw. im bestehenden Unterbau bis zur Tiefe des abzusichernden Tragbereiches Böden geringerer Konsistenz als steif oder locker gelagerte Böden an bzw. sind dynamisch kritisch zu bewertende Böden im Untergrund gelten besondere Anforderungen. Bei Erfordernis wird darauf in besonderen Kapiteln hingewiesen.

Tabelle 18 Richtgrößen für den Berechnungsmodul E_H

Bodenklassifikation		Zusatzbedingung Kornanteil d < 0,1 mm	Berechnungsmodul E_H in MN/m² beim hydrologischen Fall[1)]				
			1	1/2	2	2/3	3
1	schluffige oder tonige Kiese (GU, GT)	10 bis 20%	60	45	30	25	20
2	schluffige oder tonige Sande (SU, ST)	10 bis 20%	50	35	25	22,5	20
3	stark schluffige oder stark tonige Kiese bzw. Sande (GU*,GT*, SU*, ST*)	20 bis 30 %	40	30	20	17,5	15
4		> 30 %	30	20	15	10	10
5	Schluffe und Tone	leicht plastisch (UL, TL)	25	20	15	10	10
6		mittelplastisch (UM, TM)	25	20	15	12,5	10
7		ausgeprägt plastisch (UA, TA)	20	17,5	15	12,5	10

[1)] Beschreibung der hydrologischen Fälle in Ril 836.4101A05

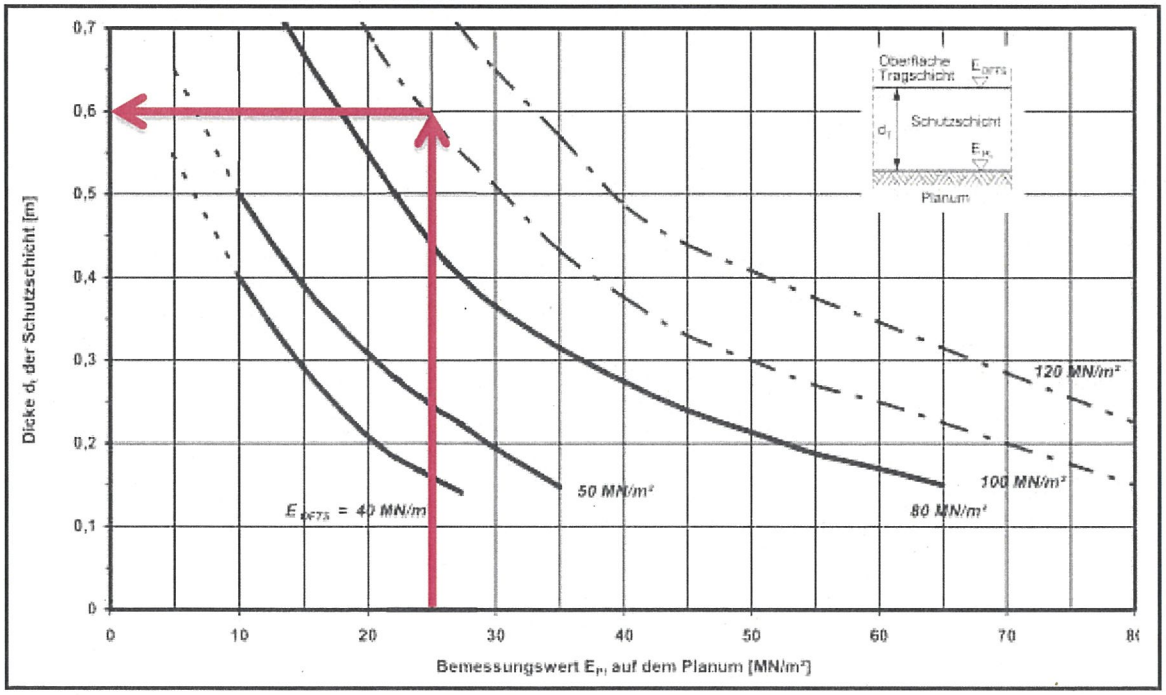
Für den Neubau der Gleise auf Erdkörpern in Dammlage darf bei mind. 5% quergeneigtem Planum, Bau von Entwässerungsanlagen und bei versickerungsfähigem Unterbau und Untergrund mit ausreichendem Abstand von der Einleitstelle (z.B. Grabensohle) zur Grundwasseroberfläche (permanent mind. 1 m) der hydrologische Fall 1 angenommen werden. Bei Lage des Planums in Geländegleiche bzw. im Einschnitt kann je nach anstehendem Boden und örtlichen Grundwasserverhältnissen unter der Voraussetzung, dass die Entwässerungsanlage neu ge-

baut oder neu profiliert werden, von einem hydrologische Fall 1/2 oder Fall 2 ausgegangen werden. Nur bei versickerungsfähigem Untergrund mit ausreichendem Abstand von der Einleitstelle zur Grundwasseroberfläche kann in Einschnitten der hydrologische Fall 1 angenommen werden.

Für den Umbau von Gleisen auf bestehenden Erdkörpern in Dammlage kann bei mind. 5% quergeneigtem Planum, Bau von neuen Entwässerungsanlagen, Instandsetzung vorhandener Entwässerungsanlagen bzw. versickerungsfähigem Unterbau und Untergrund bei ausreichendem Abstand von der Einleitstelle zur Grundwasseroberfläche der hydrologische Fall 1 angenommen werden. Bei Lage des Planums in Geländegleiche bzw. im Einschnitt kann unter der Voraussetzung, dass die Entwässerungsanlagen neu gebaut oder neu profiliert werden, von einem hydrologische Fall 1/2 oder Fall 2 je nach anstehendem Boden und örtlichen Grundwasserverhältnissen ausgegangen werden.

Ist der abgeleitete Bemessungsmodul E_H kleiner als der auf dem Planum geforderte Verformungsmodul E_{v2} = 45 MN/m² bzw. E_{vd} = 30 MN/m² ist unter der PSS ein Bodenaustausch oder eine Bodenverbesserung notwendig. Die Gesamtdicken der Tragschichten ohne Bindemitteleinsatz werden aus dem Diagramm Bild 5 mit dem abgeleiteten Bemessungsmodul E_H, der dem Bemessungswert E_{PL} im Bild 5 entspricht, bestimmt.

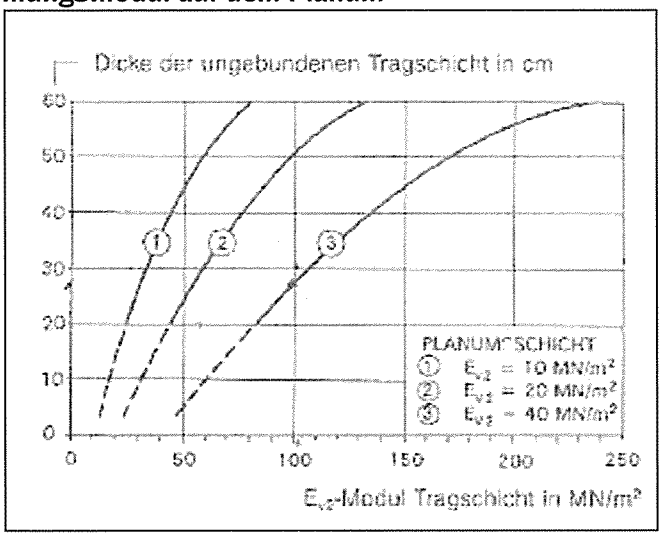
Bild 5 **Diagramm zur Bestimmung der Dicke d_T von Trag- bzw. Schutzschichten bei Schotteroberbau**



Kann mit einem zu geringem Bemessungsmodul E_H bzw. Bemessungswert E_{Pl} im Bild 5 keine Dicke der Schutz- bzw. Tragschicht abgelesen werden, sind die Dicken gutachtlich festzulegen. Dabei können z.B. die langjährig in der Praxis erprobten Erfahrungswerte aus dem Kommentar

zur ZTVE (von: Floss) über den Zuwachs an Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der Dicke der Tragschicht und dem Verformungsmodul auf dem Planum herangezogen werden (Bild 6).

Bild 6 **Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der Dicke der Tragschicht und dem Verformungsmodul auf dem Planum**



7.1.4 Grundsätze zur Qualitätssicherung

Im Projekt ist unter Neubaugleisen immer eine Tragschicht (früher auch PSS genannt) gemäß DBS 918062 aus KG 1 bzw. in Bereichen mit versickerungsfähigem Untergrund und ausreichendem Abstand zur Grundwasseroberfläche aus KG 2 einzubauen. Das gleiche gilt für den Umbau von Gleisen auf bestehenden Erdkörpern, wenn unter dem Schotter keine den Korngemischen nach DBS 918062 gleichwertigen Tragschichten erkundet wurden.

Grundsätzlich sollte eine bemessene Schutzschicht bis max. 35 cm Schichtdicke (im verdichteten Zustand) in einer Lage eingebaut werden. Bei Dicken über 35 cm sind 2 Lagen zu planen, wovon mindestens die obere Lage aus KG nach DBS 918062 bestehen muss und die untere immer aus einem versickerungsfähigen Korngemisch nach ZTV SoB (z.B. Kies- oder Schottertragschicht 0/32 bzw. 0/45) geplant werden kann. Die Verfügbarkeit und die Kosten eines Materials nach ZTV SoB sind in der Regel kostengünstiger als die eines KG 2.

Bei Verwendung von KG nach DBS 918062 ist in der Regel kein Geokunststoff mit Trenn- und Filterwirkung erforderlich, da bei diesen Korngemischen die Filterstabilität zu den anstehenden Böden gewährleistet ist. Geokunststoffe sind auf dem Planum nur bei anstehenden bindigen Böden und bei 2-lagigem Aufbau der Tragschicht erforderlich, wenn die untere Lage aus einem Material nach ZTV SoB geplant wird.

Für Neubaugleise auf einlagigen Tragschichten sind auf dem Planum und der Oberfläche der Tragschicht der Verformungsmodul (E_{v2} bzw. E_{vd}) und die Dichte (D_{Pr}) nach Tabelle 16 bzw. 17 nachzuweisen.

Bei 2-lagigen Tragschichten sollten in der Planung und Ausschreibung grundsätzlich die Anforderungen bezüglich der Verformungsmoduli (E_{v2} bzw. E_{vd}) und der Dichte (D_{Pr}) für das Planum (anstehender verdichteter oder verbesserter Boden), für die untere und die obere Tragschichtlage entsprechend der Empfehlungen in diesem Geotechnischen Bericht übernommen werden, auch wenn diese von den Regelwerten der Ril 836 abweichen sollten. Nur so kann das Erreichen der Sollwerte auf der Oberfläche Tragschicht gewährleistet werden. Zusätzlicher Bodenaustausch ist in der Bauausführung dann nur noch beim Antreffen „schlechterer" Böden als bei der Baugrunderkundung angetroffen möglich. Bei Unterschreitung des Bemessungsmoduls auf dem Planum sind während der Bauausführung zusätzliche Maßnahmen gemeinsam mit der Bauüberwachung unter Beteiligung eines geotechnischen Sachverständigen festzulegen.

Für alle Tragschichtmaterialien ist in der Ausschreibung festzulegen, dass mit einem Vorlauf von mindestens 4 Wochen vor deren Einbau der Bauüberwachung Eignungsuntersuchungen bzw. Prüfzeugnisse vorzulegen sind.

7.2 Abschnittbezogene Bemessung der Tragschichten

7.2.1 Vorbemerkungen

Für die Bemessung wird der Untersuchungsraum in Bereiche gegliedert. Neben vergleichbaren Baugrundverhältnissen im Untergrund/Unterbau und der Lage der Oberfläche Tragschicht (OFTS) bezogen auf das angrenzende Gelände sind auch die hydrologischen Verhältnisse zu beachten, da sie erheblichen Einfluss auf die Tragfähigkeit des Baugrundes aufweisen können.

In diesem Projekt wird davon ausgegangen, dass im gesamten PFA 1 funktionstüchtige Entwässerungsanlagen hergestellt bzw. neu errichtet werden, die über die Bahnkörperbreite möglichst eine permanente Entwässerung des Bereiches bis 1,5 m unter der Schienenoberkante gewährleisten. In Bereichen, wo dies nicht möglich ist, müssen die Tragschichten so geplant werden, dass sie bei temporärem Einstau lagestabil und tragfähig bleiben. Außerdem dürfen gemäß Ril 836.4601 bei Einstau im Bereich bis 1,5 m unter der Schienenoberkante keine verwitterungsempfindlichen Böden anstehen. Die Geschiebeböden mit den Bodengruppen nach DIN 18196 ST*, SU*, TL sind als verwitterungsempfindlich zu beurteilen. In den Bereichen, wo die verwitterungsempfindlichen Böden im Bereich bis 1,5 m unter Schienenoberkante angetroffen werden, sind zusätzlich zu den auf Tragfähigkeit bemessenen Tragschichten bodenverbessernde Maßnahmen erforderlich.

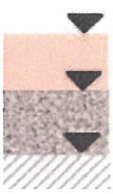
Bezogen auf die Lage der OFTS werden die Bereiche in Dämme und Einschnitte und Geländegleichlage unterschieden unabhängig davon, ob es sich um Verbreiterungen vorhandener Dämme bzw. Einschnitte handelt. Die Lage des Planums ergibt sich aus der geplanten Gradiente abzüglich der Dicke des Oberbau (Schiene+Schwelle+Schotter+Tragschicht ≈ 20 cm + 20 cm

+ 30 cm + 35 cm = 105 cm unter Schienenoberkante). Liegt das Planum über dem Geländeniveau ist von einer Dammlage auszugehen. Liegt das Planum unter der Geländeoberfläche handelt es sich um einen Einschnitt. Die Ergebnisse der Tragschichtbemessung sind für die Gleise der Strecken 1249, 1120, 1241 und 1242 diesem Bericht als Anhänge beigefügt. Die in den Anhängen für die Strecke 1249 angegebene Stationierung bezieht sich auf die Bestandsstrecke 1120. In den einzelnen km-Abschnitten wurden die Böden mit ähnlichen Eigenschaften bezüglich Tragfähigkeit, Frostempfindlichkeit und der vorgenannten Bemerkungen zusammengefasst.

Werden unter den Tragschichten An- oder Neuschüttungen (Dämme) erforderlich, sind dafür gut verdichtbare Kiessandgemische der Bodengruppen GU, GW, GE, GI und SW zu verwenden. Weitere Ausführungen dazu können im Kapitel 7.3.2 nachgelesen werden.

7.2.2 Abschnitt km 59,709 bis km 59,300, Strecke 1249, Gleis Ahrensburg – Hamburg

Großräumig verläuft das Gleis in einem Einschnitt. Das Gleis wird mit Hilfe einer Dammschüttung über das Überwerfungsbauwerk geführt und fädelt danach in die Bestandsstrecke 1120 ein. Nach Abtrag des Bewuchses und Oberbodens sind in der Dammaufstandsfläche für die Bemessung maßgeblich nichtbindige Fein- und Mittelsande, deren Kiesanteil stark variiert, zu erwarten. Die Sande konnten bis in Tiefen von 10,0 m nachgewiesen werden. Lokal wurden oberflächennah Auffüllung und Geschiebelehm erkundet, die jedoch baugrundtechnisch nicht maßgebend sind. Grundwasser wurde in Tiefen größer 2,0 m und damit > 1,5 m unter SO unter Bohransatzpunkt angetroffen und kann in diesem Abschnitt bezüglich der Tragschichtbemessung vernachlässigt werden. Die erforderliche Dicke der PSS beträgt 35 cm. Mit der empfohlenen PSS wird die Frostsicherheit und Tragfähigkeit gewährleistet. Als Korngemisch für die PSS kommt KG2 zum Einsatz. Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 14 nachgelesen werden. Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw. -verbesserung):



OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 100 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 35 cm
OK (verbessertes) Planum	E_{v2}/E_{vd} = 45 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	entfällt
Aushubsohle	entfällt		

7.2.3 Abschnitt km 59,300 bis km 58,400, Strecke 1249, Gleis Ahrensburg – Hamburg

Im o.g. km-Abschnitt befindet sich das Gleis in etwa geländegleicher Lage und verläuft bis km 58,700 nahezu parallel zu dem Bestandserdbauwerk. Von km 58,700 bis km 58,400 wird der Abstand zum Bestandsgleis größer d.h. er beträgt bis zu 15,0 m. Nach Beseitigung des Oberbodens und vorhandener Bebauungen sind folgende maßgeblichen Böden zu erwarten:

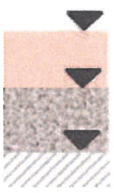
- schwach mittelsandige Feinsande, grobsandige, feinkiesige Mittelsande sowie lokal mittelsandige, feinkiesige Grobsande (SE),
- schwach schluffige, schwach feinsandige und schwach feinkiesige Mittelsande (SU),
- Auffüllungen bestehend aus Sand mit kiesigen, schwach steinigen, teils schwach schluffigen Anteilen[SE], [SU] und
- künstliche Auffüllungen bestehend aus Steinen, Sand, Bauschutt und teils Schlacke (A).

Grundwasser befindet sich > 1,5 m unter SO und kann bei der Bemessung vernachlässigt werden.

Baugrundtechnisch kann diesen Böden (außer den künstlichen Auffüllungen) für die Bemessung unter Berücksichtigung des hydrologischen Falls 1/2 ein Bemessungsmodul von E_H = 20 MN/m² zugeordnet werden.

Um die geforderte Tragfähigkeit von E_{v2} =45 MN/m² auf der Oberfläche Planum nachweisen zu können, muss ein Bodenaustausch mit d = 25 cm durchgeführt werden. Als Bodenaustauschmaterial wird ein Kiessandgemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s und einem Feinkornanteil $d_{0,0063}$ < 5% empfohlen. Durch den Einbau der erforderlichen PSS von d_{min} = 35 cm kann der Verformungsmodul E_{v2} = 100 MN/m² auf der OF Tragschicht erreicht werden. Für die PSS wird ein Korngemisch KG 2 empfohlen. Die empfohlenen Dicken PSS und Bodenaustausch gewährleisten die Frostsicherheit und Tragfähigkeit. Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 14 nachgelesen werden.

Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw.-verbesserung):



OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 100 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 35 cm
OK (verbessertes) Planum	E_{v2}/E_{vd} = 45 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	d = 25 cm
Aushubsohle	E_{v2}/E_{vd} = 20 MN/m²	-	-

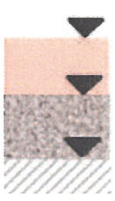
7.2.4 Abschnitt km 58,400 bis km 58,110, Strecke 1249, Gleis Ahrensburg – Hamburg

Der Gleisverlauf befindet sich großräumig im flachen Anschnitt. Bis zum km 58,300 wird das Gleis neben den Bestandsgleisen der Strecke 1120 d.h. in den Vorgärten der angrenzenden Grundstücke verlaufen. Ab km 58,300 bis ca. km 58,110 bindet das Gleis in die Bestandstrecke ein. Im Baugrund werden schluffige bis stark schluffige, schwach tonige, teils kiesige Sande erwartet (ST*, TL, SU*). Die Konsistenz dieser Böden wurde vorwiegend als weich bis steif eingeschätzt, wobei die Konsistenz mit der Tiefe zunimmt. Das Wasser wurde im ungünstigstem Fall bei 1,50 m unter SO angetroffen. Die geologische Bezeichnung für die erkundeten Böden ist Geschiebelehm bzw. Geschiebemergel. Der Geschiebelehm/-mergel wurde bis mindestens 6,50 m unter SO nachgewiesen und weist lokal eingelagerte Sandlinsen auf.

Baugrundtechnisch kann den Böden für die Bemessung auf Tragfähigkeit unter Berücksichtigung des hydrologischen Falls 2 ein Bemessungsmodul von E_H = 15 MN/m² zugeordnet werden. Um die geforderte Tragfähigkeit von E_{v2} =45 MN/m² auf der Oberfläche Planum nachweisen zu können, müssen tragfähigkeitserhöhende Maßnahmen durchgeführt werden. Im vorliegenden Fall wird eine qualifizierte Bodenverbesserung empfohlen, da nach Aussage des Planers die Ausführung einer Tiefenentwässerung mit entsprechender Vorflut realisierbar ist und somit erdbautechnische Maßnahmen eingespart werden können. Die Mindestdicke der qualifizierten Bodenverbesserung muss 30 cm betragen. Durch den anschließenden Einbau der erforderlichen PSS von d_{min} = 35 cm (Neubau) kann der Verformungsmodul E_{v2} = 100 MN/m² auf der OK Tragschicht nachgewiesen werden. Für die PSS ist das Korngemisch KG 1 einzusetzen.

Die empfohlenen Dicken PSS und Bodenaustausch gewährleisten die Frostsicherheit und Tragfähigkeit. Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 12, nachgelesen werden.

Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw.-verbesserung):



OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 100 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 35 cm
OK (verbessertes) Planum	E_{v2}/E_{vd} = 45 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	d = 30 cm
Aushubsohle	E_{v2}/E_{vd} = 15 MN/m²	-	-

7.2.5 Abschnitt km 58,110 bis km 57,500, Strecke 1249, Gleis Ahrensburg – Hamburg

In diesem Abschnitt befindet sich der bestehende Bahnkörper bis kurz hinter die EÜ Bovestraße (ca. bis km 57,700) in Dammlage. Es folgt ein relativ geländegleicher Übergang, der bis ca. km 57,500 in einem Anschnitt ausläuft. Das neue Gleis wird durch eine Dammanschüttung (Dammverbreiterung) parallel zum Bestandsgleis bis zur EÜ Bovestraße hergestellt. Nach der EÜ Bovestraße setzt sich die Dammverbreiterung bis ca. km 57,700 fort. Bis zum Abschnittsende in km 57,500 verläuft das Gleis wieder relativ nah und parallel zum Bestandsgleis der Strecke 1120.

In der Dammaufstandsfläche im Bereich der Dammverbreiterung werden in Auswertung der Erkundungsergebnisse künstliche und mineralische Auffüllungen erwartet. Die Auffüllungen setzen sich aus kiesigen, steinigen, schwach schluffigen und schluffigen Sanden zusammen, die teilweise mit Betonstücken, Wurzeln, Glas und Ziegelresten durchsetzt sind (A, [SI] [SU],[SU*], [SE]). In der Dammaufstandsfläche besteht keine Nachweispflicht bezüglich der Tragfähigkeit. Hinweise zur Ausführung der Dammverbreiterung sind dem Kapitel 7.3.2 zu entnehmen.
Im zukünftigen Planum des Gleises von ca. km 57,700 bis km 57,500 sind aufgefüllte schluffige Sande teils mit Bauschuttresten und Ziegelbruch sowie steinige, kiesige und schwach schluffige Sande, die häufig mit Wurzeln durchzogen sind, erkundet worden ([SU*], [SU], SU*). Das Grundwasser befindet sich > 1,5 m unter SO und kann bei der Bemessung vernachlässigt werden bzw. ist bei der Bewertung des hydrologischen Falls berücksichtigt worden.

Baugrundtechnisch kann diesen Böden für die Bemessung der Tragfähigkeit unter Berücksichtigung des hydrologischen Falls 1/2 ein Bemessungsmodul von E_H = 25 MN/m² zugeordnet werden.

Um die geforderte Tragfähigkeit von E_{v2} =45 MN/m² auf der Oberfläche Planum nachweisen zu können, muss ein Bodenaustausch mit d = 20 cm durchgeführt werden. Als Bodenaustauschmaterial wird ein Kiessandgemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s mit einem Feinkornanteil $d_{0,063} < 5\%$ empfohlen. Durch den Einbau der erforderlichen PSS von d_{min} = 35 cm (Neubau) kann der Verformungsmodul E_{v2} = 100 MN/m² auf der OK Tragschicht nachgewiesen werden. Für die PSS wird das Korngemisch KG 2 empfohlen.

Die empfohlenen Dicken PSS und Bodenaustausch gewährleisten die Frostsicherheit und Tragfähigkeit. Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 11 nachgelesen werden

Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw.-verbesserung):

OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 100 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 35 cm
OK (verbessertes) Planum	E_{v2}/E_{vd} = 45 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	d = 20 cm
Aushubsohle	E_{v2}/E_{vd} = 25 MN/m²	-	-

7.2.6 Abschnitt km 57,500 bis km 56,597, Strecke 1249, Gleis Ahrensburg – Hamburg

Das Gleis wird neben den Bestandsgleisen der Str. 1120 in etwa geländegleicher Lage bis Luetkensallee (km 76,740) neu gebaut. Nach der Luetkensallee wird ab ca. km 56,660 mit dem Gleisneubau in die bestehende Einschnittsböschung eingegriffen. Hier erfolgt ein teilweiser Abtrag der Böschung, der sich über die Planfeststellungsgrenze PFA1 in km 56,597 weiter hinaus fortsetzt. Nach Beseitigung des Oberbodens, des Bewuchses und sonstiger Bebauungen werden in dem Niveau des neuen Planums mit Ausnahme der Widerlagerhinterfüllbereiche der EÜ maßgeblich bindige Böden wie z.B. schluffiger Sand mit und ohne Plastizität (SU*), schluffige bis stark schluffige, tonige und kiesige Sande, stark sandige Schluffe und vereinzelt feinsandige, schwach kiesige Sande (SU*, ST*, TL, SE) aufgeschlossen. Die bindigen Böden, die geologisch als Geschiebelehm bezeichnet werden, setzen sich bis in größere Tiefen fort. Die Konsistenz der spezifizierten Bodenproben ist bis auf zwei Ausnahmen als weich örtlich sogar als breiig einzustufen. Das Wasser wurde teilweise < 1,50 m unter zukünftiger SO festgestellt.

Maßgebend für die Bemessung der Tragfähigkeit sind die beschriebenen bindige Sande und Schluffe (Geschiebelehm). Unter Berücksichtigung des hydrologischen Falls 2/3 kann diesen Böden nur ein Bemessungsmodul von E_H = 10 MN/m² zugeordnet werden.

Um die geforderte Tragfähigkeit von E_{v2} =45 MN/m² auf der Oberfläche Planum nachweisen zu können, muss ein Bodenaustausch mit d = 40 cm durchgeführt werden. Als Bodenaustauschmaterial wird ein Kiessandgemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s mit einem Feinkornanteil $d_{0,063}$ < 5% empfohlen Durch den Einbau der erforderlichen PSS von d_{min} = 35 cm (Neubau) kann der Verformungsmodul E_{v2} = 100 MN/m² auf der OK Tragschicht erreicht bzw. nachgewiesen werden. Für die PSS wird das Korngemisch KG 2 empfohlen. Die angegebenen Dicken für PSS und Bodenaustausch gewährleisten die Frostsicherheit und Tragfähigkeit.

Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 10 nachgelesen werden.

Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw.-verbesserung):

OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 100 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 35 cm
OK (verbessertes) Planum	E_{v2}/E_{vd} = 45 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	d = 40 cm
Aushubsohle	E_{v2}/E_{vd} = 10 MN/m²	-	-

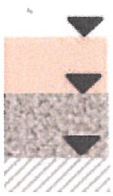
7.2.7 Abschnitt km 59,709 bis km 59,300, Strecke 1249, Gleis Hamburg – Ahrensburg

Das Gleis befindet sich im Einschnitt und verläuft parallel neben den Bestandsgleisen bis zur Einbindung in die Bestandsstrecke in ca. km 59,560. In Auswertung der Aufschlussergebnisse befinden sich nach Beseitigung des Bewuchses in Höhe Planum (ca. 1,10 m unter SO) mittelsandige, vereinzelt schwach kiesige Feinsande und sandige Auffüllungen, die teilweise Beimengungen an Schotter und Ziegelbruch enthalten [SE], [SU]. Diesen Böden kann für die Bemessung der Tragfähigkeit unter Berücksichtigung des hydrologischen Falls ½ ein Bemessungsmodul von E_H = 20 MN/m² zugeordnet werden.

Um die geforderte Tragfähigkeit von E_{v2} =45 MN/m² auf der Oberfläche Planum nachweisen zu können, muss ein Bodenaustausch mit d = 25 cm (s. Bild 5) durchgeführt werden. Als Bodenaustauschmaterial wird ein Kiessandgemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s mit einem Feinkornanteil $d_{0,0063} <$ 5% empfohlen. Durch den Einbau der erforderlichen PSS von d_{min} = 35 cm (Neubau) kann der Verformungsmodul E_{v2} = 100 MN/m² auf der OK Tragschicht nachgewiesen werden. Für die PSS soll das Korngemisch KG 2 verwendet werden. Das Grundwasser liegt >> 1,5 m unter SO und kann bei der Bemessung vernachlässigt werden.

Die empfohlenen Dicken PSS und Bodenaustausch gewährleisten die Frostsicherheit und Tragfähigkeit. Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 15 nachgelesen werden.

Zusammenfassung der Anforderungen (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw. -verbesserung) für die Planung:



OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 100 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 35 cm
OK (verbessertes) Planum	E_{v2}/E_{vd} = 45 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	d = 25 cm
Aushubsohle	E_{v2}/E_{vd} = 20 MN/m²		

7.2.8 Abschnitt km 59,300 bis km 58,400, Strecke 1249, Gleis Hamburg – Ahrensburg

Das Gleis verläuft unmittelbar parallel neben der Bestandsstrecke 1120. Im Wesentlichen sind in der geplanten Aushubsohle (-1,05 m unter SO) ähnliche Böden wie im Gleis Ahrensburg - Hamburg erkundet worden. Lediglich der Anteil an künstlichen Auffüllungen ist aufgrund der größeren Nähe zum Bestandserdbauwerk geringer. Es wurden vorwiegend schwach mittelsandige bis stark mittelsandige Feinsande und feinsandige, schwach kiesige Mittelsande mit geringen bzw. ohne schluffige Beimengungen (SE, SU) sowie nichtbindige Auffüllungen vereinzelt mit Schotter erkundet ([SE], [SU]).

Für die Bemessung des Tragschichtsystems gelten die gleichen Kriterien bzw. Festlegungen analog zum Gleis Ahrensburg - Hamburg (siehe Anhang 13 und 16).

7.2.9 Abschnitt km 58,400 bis km 58,110, Strecke 1249, Gleis Hamburg – Ahrensburg

Das Gleis befindet sich großräumig im flachen Anschnitt und verläuft zukünftig auf dem Bestandsbauwerk zwischen dem Richtungsgleis und dem Gegengleis der Strecke 1120. Die Baugrundverhältnisse im freizulegenden Planum sind mit denen aus dem Gleis Ahrensburg - Hamburg vergleichbar, nur dass hier die Konsistenz der erkundeten Böden maßgeblich als weich einzustufen ist. Das Wasser wurde bei etwa 1,80 m unter SO angetroffen.

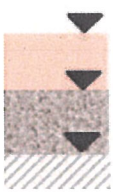
Baugrundtechnisch kann diesen Böden für die Bemessung der Tragfähigkeit unter Berücksichtigung des hydrologischen Falls 2 ein Bemessungsmodul von E_H = 10 MN/m² zugeordnet werden.

Um die geforderte Tragfähigkeit von E_{v2} =45 MN/m² auf der Oberfläche Planum nachweisen zu können, müssen tragfähigkeitserhöhende Maßnahmen durchgeführt werden. Im vorliegenden Fall wird eine qualifizierte Bodenverbesserung empfohlen, da nach Aussage des Planers die Ausführung einer Tiefenentwässerung mit entsprechender Vorflut realisierbar ist. Die Mindestdicke der qualifizierten Bodenverbesserung soll 30 cm betragen. Durch den anschließenden Einbau der PSS von d_{min} = 35 cm (Neubau) kann der Verformungsmodul E_{v2} = 100 MN/m² auf der

OK Tragschicht nachgewiesen werden. Für die PSS ist hier das Korngemisch KG 1 einzusetzen.

Die empfohlenen Dicken PSS und Bodenaustausch gewährleisten die Frostsicherheit und Tragfähigkeit. Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 17 nachgelesen werden.

Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw. -verbesserung):



OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 100 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 35 cm
OK (verbessertes) Planum	E_{v2}/E_{vd} = 45 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	d = 30 cm
Aushubsohle	E_{v2}/E_{vd} = 10 MN/m²	-	-

7.2.10 Abschnitt km 58,110 bis km 57,500, Strecke 1249, Gleis Hamburg – Ahrensburg

Das Gleis verläuft auf dem bestehenden Erdbauwerk in Dammlage (bis ca. km 57,800) und bleibt nahezu vollständig in der Linienführung des bestehenden Gleises Ahrensburg - Hamburg der Strecke 1120. Eine geringfügige seitliche Gleisverschiebung ist ab der Weiche W 113 bis zum km 57,500 geplant. Dies gilt auch für den Weichenbereich W 118. Die Aufschlüsse zeigen (insbesondere die Schürfe), dass im zukünftigen Planum einerseits Reste einer alten Schutzschicht (SE, SI, GE, GI) und andererseits bindige Böden in weicher Konsistenz zu erwarten sind. Die bindigen Böden bestehen aus schluffigen Sanden ohne Plastizität (SU*) und Geschiebelehm/-mergel. Der Geschiebelehm/-mergel setzt sich aus schluffigen, schwach tonigen bis tonigen Sanden mit stark variierenden Kiesanteil zusammen (ST*, TL). Vereinzelt wurden auch Steine erkundet. Wasser wurde erst in Tiefen > 3,0 m angetroffen und kann somit bei der Bemessung vernachlässigt werden bzw. wurde bei der Einschätzung des hydrologischen Falls bereits berücksichtigt.

Maßgebend für die Bemessung der Tragfähigkeit sind die weichen Geschiebeböden. Unter Berücksichtigung des hydrologischen Falls 1/2 kann diesen ein Bemessungsmodul von E_H = 20 MN/m² zugeordnet werden.

Um die geforderte Tragfähigkeit von E_{v2} =45 MN/m² auf der Oberfläche Planum nachweisen zu können, muss ein Bodenaustausch mit d = 25 cm durchgeführt werden. Als Bodenaustauschmaterial wird ein Kiessandgemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s mit einem Feinkornanteil $d_{0,0063} < 5\%$ empfohlen. Durch den Einbau der erforderlichen PSS von d_{min} = 35 cm (Neubau) kann der Verfor-

mungsmodul E_{v2} = 100 MN/m² auf der OK Tragschicht nachgewiesen werden. Für die PSS soll das Korngemisch KG 2 verwendet werden. Die empfohlenen Dicken PSS und Bodenaustausch gewährleisten die Frostsicherheit und Tragfähigkeit.

Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 18 nachgelesen werden.

Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw. -verbesserung):

OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 100 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 35 cm
OK (verbessertes) Planum	E_{v2}/E_{vd} = 45 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	d = 25 cm
Aushubsohle	E_{v2}/E_{vd} = 20 MN/m²	-	-

7.2.11 Abschnitt km 57,500 bis km 56,597, Strecke 1249, Gleis Hamburg – Ahrensburg

In km 57,500 verlässt das neu geplante Gleis das Bestandsgleis (Gleis Ahrensburg – Hamburg, Str 1120) und verläuft unmittelbar hinter dem Kabelkanal in Geländehöhe bis zur EÜ Luetkensallee. Hinter der EÜ Luetkensallee verläuft das Gleis am Böschungsfuß des Einschnitts weiter. Nach Freilegung des zukünftigen Planums werden sich schluffige, schwach tonige Sande, stark schluffige Sande, schluffige Sande ohne Plastizität und lokal aufgefüllte schwach schluffige, schwach kiesige Sande zeigen (ST*, TL, SU*, [SU]). Die Konsistenz des Geschiebelehms ist weich. Der Geschiebelehm/-mergel mit seinen lokal eingelagerten Sandlinsen wurde bis mindestens 3,0 m unter SO nachgewiesen. Das Wasser wurde teilweise als Schichtwasser im oberflächennahen Bereich in Tiefen von ≤ 1,50 m unter geplanter SO eingemessen.

Baugrundtechnisch kann diesen Böden für die Bemessung der Tragfähigkeit unter Berücksichtigung des hydrologischen Falls 2/3 ein Bemessungsmodul von E_H = 10 MN/m² zugeordnet werden.

Um die geforderte Tragfähigkeit von E_{v2} =45 MN/m² auf der Oberfläche Planum erreichen zu können, muss ein Bodenaustausch mit d = 40 cm ausgeführt werden. Als Bodenaustauschmaterial wird ein Kiessandgemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s mit einem Feinkornanteil $d_{0,0063} < 5\%$ empfohlen. Durch den Einbau der erforderlichen PSS von d_{min} = 35 cm (Neubau) kann der Verformungsmodul E_{v2} = 100 MN/m² auf der OK Tragschicht nachgewiesen werden. Für die PSS soll das Korngemisch KG 2 verwendet werden. Die empfohlenen Dicken PSS und Bodenaustausch gewährleisten die Frostsicherheit und Tragfähigkeit.

Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 19 nachgelesen werden.

Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw. -verbesserung:

OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 100 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 35 cm
OK (verbessertes) Planum	E_{v2}/E_{vd} = 45 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	d = 40 cm
Aushubsohle	E_{v2}/E_{vd} = 10 MN/m²	-	-

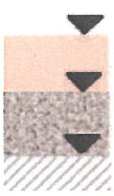
7.2.12 Abschnitt km 59,709 bis km 59,150
Strecke 1120, Gleise Hamburg – Lübeck und Lübeck – Hamburg

Die Bestandsstrecke befindet sich in diesem Teilabschnitt großräumig im Einschnitt bis kurz vor den BÜ Hammerstr. d.h. in km 59,150. Die „neue" Gleislage verläuft in der alten Trassenführung der Strecke 1120. Die Erkundungsergebnisse im unmittelbaren Gleiskörper zeigten unterschiedliche Unterbauverhältnisse. Es wurden einerseits Auffüllungen, die aus stark sandigen Kiesen (Bodengruppe [GI]), schwach kiesigen bis kiesigen, teils schwach schluffigen Sanden (Bodengruppen [SE], [SU]) bestehen und andererseits anstehende Fein- und Mittelsande mit bzw. ohne schluffigen Beimengungen (Bodengruppen SE, SU) erkundet. Örtlich begrenzt wurden auch bindige Sande (SU*) im Planum angetroffen. Die „alten" Schutzschichten konnten nicht zusammenhängend nachgewiesen werden und entsprechen nicht den Anforderungen an Tragschichten gemäß Ril 836. Aus geotechnischer Sicht werden für diesen Teilabschnitt Verbesserungskriterien herangezogen, da die Trasse maßgeblich in Bestandslage bleibt. Grundwasser wurde in Tiefen ≥ 2,50 m unter SO angetroffen.

Der Berechnungsmodul für die Bemessung des Tragschichtsystems kann für die im Unterbau erkundeten Böden unter Berücksichtigung des Hydrologischen Fall 1 mit E_H = 20 MN/m² angenommen werden. Um die geforderte Tragfähigkeit von E_{v2} =30 MN/m² auf der Oberfläche Planum nachweisen zu können, wird eine Nachverdichtung der Böden empfohlen. Durch den Einbau der erforderlichen PSS von d_{min} = 30 cm kann der Verformungsmodul E_{v2} = 50 MN/m² auf der OK Tragschicht nachgewiesen werden. Für die PSS soll das Korngemisch KG 2 verwendet werden. Das Grundwasser liegt ≥ 2,50 m unter SO und kann bei der Bemessung „vernachlässigt" werden.

Die empfohlenen Dicken PSS und Bodenaustausch gewährleisten die Frostsicherheit und Tragfähigkeit. Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 20 nachgelesen werden.

Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw. -verbesserung):



OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 50 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 30 cm
OK (verbessertes) Planum	E_{v2}/E_{vd} = 30 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	d = 0 cm
Aushubsohle	E_{v2}/E_{vd} = 20 MN/m²		

7.2.13 Abschnitt km 59,150 bis km 58,800, Strecke 1120,Gleise Hamburg – Lübeck und Lübeck – Hamburg

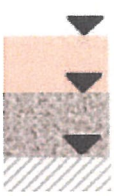
Die Gleise verlaufen etwa in geländegleichem Niveau, wobei in ca. km 58,930 die Strecke 1242 (Horner Kurve), aus südlicher Richtung kommend, in die Bestandsstrecke 1120 einbindet. Die neue Streckenführung ist im Bereich des Einbaues der Außenbogenweiche durch eine seitliche Verschiebung aus der bestehenden Trassenführung gekennzeichnet. In dem zukünftigen Planum (ca. 1,05 m unter SO) wurden bindige Böden in Form von Feinsanden, teils schluffig, schwach tonig, teils stark organisch (SU*, OH), aufgefüllte schluffige Sande [SU*] und lokal aufgefüllte schwach kiesige Sande [SE] erkundet. Im Bereich von ca. km 58,950 (Schurf HH102) reichte der bindige, stark organische Boden bis 1,50 m unter SO hinab und in der dazugehörigen BS HH 623 wurde bis zur Endtiefe von 3,0 m weicher Geschiebelehm und -mergel aufgeschlossen. Die Gleislage der bestehenden Strecke ist in diesem Abschnitt laut Gleismessschrieb als sehr unruhig zu bewerten, wobei der starke Schachtelhalmbewuchs in beiden Gleisen auf Staunässe hinweist. Die Entwässerung des Bahnkörpers ist daher als nicht funktionstüchtig einzuschätzen. Das Wasser wurde in Tiefen ≥ 2,40 m angetroffen.

Baugrundtechnisch kann diesen Böden für die Bemessung der Tragfähigkeit unter Berücksichtigung des hydrologischen Zielzustandes Fall 1/2 nur ein Bemessungsmodul von E_H = 15 MN/m² zugeordnet werden.

Um die geforderte Tragfähigkeit von E_{v2} =45 MN/m² auf der Oberfläche Planum nachweisen zu können, muss ein Bodenaustausch mit d = 35 cm durchgeführt werden. Als Bodenaustauschmaterial wird ein Kiessandgemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s mit einem Feinkornanteil $d_{0,063} < 5\%$ empfohlen. Durch den Einbau der erforderlichen PSS von d_{min} = 35 cm (Neubau) kann der Verformungsmodul E_{v2} = 100 MN/m² auf der OK Tragschicht nachgewiesen werden. Für die PSS wird das Korngemisch KG 2 empfohlen. Die bemessenen Dicken PSS und Bodenaustausch gewährleisten die Frostsicherheit und Tragfähigkeit.

Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 21 nachgelesen werden.

Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw. -verbesserung):



OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 100 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 35 cm
OK (verbessertes) Planum	E_{v2}/E_{vd} = 45 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	d = 35 cm
Aushubsohle	E_{v2}/E_{vd} = 15 MN/m²	-	-

7.2.14 Abschnitt km 58,800 bis km 58,450, Strecke 1120,Gleise Hamburg – Lübeck und Lübeck – Hamburg

Die neuen Gleise verlaufen in geländegleichem Niveau und weisen bis ca. km 58,600 keine und eine geringe Gleislageverschiebung innerhalb des Bestandserdbauwerkes auf. Im zukünftigen Planum (ca. 1,05 m unter SO) sind aufgefüllte, schwach kiesige bis kiesige Sande, Kiese und Kiessande, die teilweise schluffige Beimengungen besitzen, schwach schluffige, vereinzelt schwach organische Sande sowie gewachsene, Sande mit bzw. ohne schluffige Beimengungen zu erwarten. Die nichtbindigen Böden setzen sich bis auf zwei Ausnahmen (BS HH 602 und BS HH 592) auch in größeren Tiefen fort und sind in die Bodengruppen [SI], [SE], [GI], [GE], [SU], [GU], und SU, SE einzuordnen. Im Bereich von km 58,540 bis 58,520 wurde Vlies freigelegt, welches aufgrund seiner Lage auf eine Dränage hindeutet. Das Wasser wurde in Tiefen ≥ 2,60 m unter SO angetroffen.

Baugrundtechnisch kann diesen Böden für die Bemessung der Tragfähigkeit unter Berücksichtigung des hydrologischen Zielzustandes Fall 1/2 ein Bemessungsmodul von E_H = 20 MN/m² zugeordnet werden.

Um die geforderte Tragfähigkeit von E_{v2} =45 MN/m² auf der Oberfläche Planum nachweisen zu können, muss ein Bodenaustausch mit d = 25 cm durchgeführt werden. Als Bodenaustauschmaterial wird ein Kiessandgemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s mit einem Feinkornanteil $d_{0,0063} < 5\%$ empfohlen. Durch den Einbau der erforderlichen PSS von d_{min} = 35 cm (Neubau) kann der Verformungsmodul E_{v2} = 100 MN/m² auf der OK Tragschicht erreicht werden. Für die PSS soll das Korngemisch KG 2 geplant werden. Die empfohlenen Dicken PSS und Bodenaustausch gewährleisten die Frostsicherheit und Tragfähigkeit. Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 22 nachgelesen werden.

Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw. -verbesserung:

OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 100 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 35 cm

	E_{v2}/E_{vd} = 45 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	d = 25 cm
	E_{v2}/E_{vd} = 20 MN/m²	-	-

7.2.15 Abschnitt km 58,450 bis km 58,150, Strecke 1120,Gleise Hamburg – Lübeck und Lübeck – Hamburg

Hinter der Robert-Schumann-Brücke, ab ca. km 58,450, befinden sich die Gleise großräumig in einem flachen Einschnitt, der ab ca. km 58,380 in geländegleicher Lage ausläuft. Ab ca. km 58,200 beginnt eine Dammlage über die EÜ Gehölzgraben in km 58,150. Die neue Strecke 1120 verläuft teilweise in und teilweise neben den Bestandsgleisen. Nach den Erkundungsergebnissen wurden in nahezu allen maßgebenden Aufschlüssen (bis auf eine Ausnahme) nichtbindige Auffüllungen in Form von Schutzschichten über anstehenden bindigen Böden, die aus Geschiebelehm und -mergel bestehen, aufgeschlossen. Die nichtbindigen Auffüllungen setzen sich aus kiesigen Sanden, schwach schluffigen, schwach kiesigen bis kiesigen Sanden, stark sandigen Kiesen und vereinzelt aus schluffigen, sandigen Kiesen zusammen [SE], [SU], [GI], [GE], [GU*]. Die Stärke der Schutzschichten schwankt zwischen 10 cm und 80 cm und ihre Kornzusammensetzungen entsprechen nicht den Anforderungen gemäß DBS 918062. Die Geschiebelehme und-mergel können als schluffige, schwach tonige, teils schwach kiesige Sande und als stark sandige, schluffige Tone beschrieben werden. Ihre Konsistenz war weich bis steif, örtlich breiig. Das Wasser wurde in Tiefen ≥ 2,70 m unter Schienenoberkante angetroffen.

Baugrundtechnisch kann den Böden in der maßgebenden Tiefe (1,05 m unter SO) für die Bemessung der Tragfähigkeit unter Berücksichtigung des hydrologischen Falls 1 ein Bemessungsmodul von E_H = 15 MN/m² zugeordnet werden.

Um die geforderte Tragfähigkeit von E_{v2} =45 MN/m² auf der Oberfläche Planum nachweisen zu können, müssen tragfähigkeitserhöhende Maßnahmen durchgeführt werden. Im vorliegenden Fall wird eine qualifizierte Bodenverbesserung empfohlen, da nach Aussage des Planers die Ausführung einer Tiefenentwässerung mit entsprechender Vorflut realisierbar ist. Die Mindestdicke der qualifizierten Bodenverbesserung (QBV) soll 30 cm betragen. Durch den anschließenden Einbau der erforderlichen PSS von d_{min} = 35 cm (Neubau) kann der Verformungsmodul E_{v2} = 100 MN/m² auf der OK Tragschicht nachgewiesen werden. Für die PSS ist hier das Korngemisch KG 1 einzusetzen. Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 23 nachgelesen werden.

Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw. -verbesserung):

OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 100 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 35 cm

	E_{v2}/E_{vd} = 45 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	d = 30 cm
	E_{v2}/E_{vd} = 15 MN/m²	-	-

7.2.16 Abschnitt km 58,100 bis km 57,740, Strecke 1120, Gleise Hamburg – Lübeck und Lübeck – Hamburg

Die Trasse verläuft in diesem Teilabschnitt bis ca. km 57,800 auf einer sehr breiten Dammkrone, die kleinräumig bezüglich der Unterbaubewertung als relativ eben zu bezeichnen ist. Das neue Gleis verläuft bis ca. km 57,800 teilweise neben den Bestandsgleisen der Str. 1120 und teils im Gleis der Strecke 1242. Danach folgt der Einbau von Weichen. Im zukünftigen Planumsniveau (ca. 1,05 m unter SO) sind maßgeblich nichtbindige geschüttete Böden und örtlich untergeordnet bindige Auffüllungen erkundet worden. Die nichtbindigen Auffüllungen bestehen aus Kiesen und Sanden, schwach kiesigen bis stark kiesigen Sanden, stark sandigen Kiesen, schwach schluffigen, schwach kiesigen Sanden und Resten einer Dränageschicht [GI], [SI], [SE], [GE], [SU]. Das bindige Auffüllmaterial wurde örtlich nur in km 57,900 (RKS 84/2009) festgestellt und besteht aus einem weich bis steifen Geschiebelehm [ST*]. Das Wasser wurde in Tiefen ≥ 5,50 m angetroffen, wobei es jedoch aufgrund der Tiefe keinen Einfluss auf die Tragschichtbemessung hat.

Baugrundtechnisch kann diesen Böden für die Bemessung der Tragfähigkeit unter Berücksichtigung des hydrologischen Fall 1 ein Bemessungsmodul von E_H = 20 MN/m² zugeordnet werden.

Um die geforderte Tragfähigkeit von E_{v2} =45 MN/m² auf der Oberfläche Planum nachweisen zu können, muss ein Bodenaustausch mit d = 25 cm durchgeführt werden. Als Bodenaustauschmaterial wird ein Kiessandgemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s mit einem Feinkornanteil $d_{0,0063} < 5\%$ empfohlen. Durch den Einbau der erforderlichen PSS von d_{min} = 35 cm kann der Verformungsmodul E_{v2} = 100 MN/m² auf der OK Tragschicht nachgewiesen werden. Für die PSS soll das Korngemisch KG 2 verwendet werden. Die empfohlenen Dicken PSS und Bodenaustausch gewährleisten die Frostsicherheit und Tragfähigkeit. Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 24 nachgelesen werden.

Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw. -verbesserung):

OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 100 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 35 cm
OK (verbessertes) Planum	E_{v2}/E_{vd} = 45 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	d = 25 cm

	E_{v2}/E_{vd} = 20 MN/m²	-	-

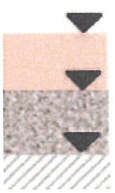
7.2.17 Abschnitt km 57,740 bis km 56,597, Strecke 1120, Gleise Hamburg – Lübeck und Lübeck - Hamburg

Großräumig befindet sich die Trasse bahnrechts im Anschnitt und bahnlinks im geländegleichen Niveau. Die neuen Gleise verlaufen bis ca. km 57,420 neben der Bestandsstrecke 1120, schneidet diese in km 47,400 und bindet in ca. km 57,270 in die bestehenden Gleise der Str 1120 ein. Bis zum Ende des Teilabschnittes wird die neue Gleislage in den Bestandsgleisen weitergeführt. Im künftigen Planum (ca. 1,05 m unter SO) sind einerseits Reste einer alten Schutzschicht (SE, SI, GE, GI) und andererseits bindige Böden in weicher Konsistenz zu erwarten. Die bindigen Böden bestehen aus schluffigen Sanden ohne und mit Plastizität (SU*) und aus Geschiebelehm/-mergel. Der Geschiebelehm/-mergel setzt sich aus schluffigen, schwach tonigen bis tonigen Sanden mit variierenden Kiesanteilen sowie stark feinsandigen Schluffen zusammen (ST*, TL). Ihre Konsistenz ist vorwiegend weich, örtlich steif. Einmalig wurden auch schwach schluffige Sande (SU) nachgewiesen. Wasser in Form von Schichtwasser wurde in Tiefen ≤ 1,50 m unter SO angetroffen und wurde bei der Tragschichtbemessung berücksichtigt.

Baugrundtechnisch ist diesen Böden für die Bemessung der Tragfähigkeit unter Berücksichtigung des hydrologischen Fall 2/3 ein Bemessungsmodul von E_H = 10 MN/m² zuzuordnen.

Um die geforderte Tragfähigkeit von E_{v2} =45 MN/m² auf der Oberfläche Planum nachweisen zu können, muss ein Bodenaustausch mit d = 40 cm durchgeführt werden. Als Bodenaustauschmaterial wird ein Kiessandgemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s mit einem Feinkornanteil $d_{0,0063} < 5\%$ empfohlen. Durch den Einbau der erforderlichen PSS von d_{min} = 35 cm (Neubau) kann der Verformungsmodul E_{v2} = 100 MN/m² auf der OK Tragschicht nachgewiesen werden. Für die PSS soll das Korngemisch KG 2 verwendet werden. Die empfohlenen Dicken PSS und Bodenaustausch gewährleisten die Frostsicherheit und Tragfähigkeit. Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen sind im Anhang 25 ausgewiesen.

Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw. -verbesserung):



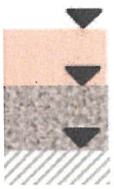
OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 100 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 35 cm
OK (verbessertes) Planum	E_{v2}/E_{vd} = 45 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	d = 40 cm
Aushubsohle	E_{v2}/E_{vd} = 10 MN/m²	-	-

7.2.18 Strecke 1241, Gleise Hamburg – Poppenbüttel km 4,200 bis km 4,500

Die Gleise befinden sich großräumig im Einschnitt. Das bahnlinke Gleis wird ab ca. km 4,268 bis ca. km. 4,500 in Dammlage geführt. Das bahnrechte Gleis befindet sich im Trog des Überwerfungsbauwerkes und wird hier nicht näher beschrieben. Für das bahnlinke Gleis der Strecke 1241 wird nach der Aufnahme der Schienen und Schwellen ein neuer Dammkörper mit geringer seitlicher Verschiebung aus der Bestandsgleisachse geschüttet. Im tieferen Untergrund d.h. unterhalb des Schotters sind gut tragfähige nichtbindige Sande zu erwarten. Sie setzen sich bis in eine Tiefe von mindestens 12 m fort und sind maßgeblich in die Bodengruppe SE einzuordnen. Das Wasser wurde in Tiefen größer 4,5 m unter Ansatzpunkt angetroffen und hat keinen Einfluss auf die Tragfähigkeitsbemessung.

Die erforderliche Dicke der PSS beträgt 25 cm. Mit der empfohlenen PSS wird die Frostsicherheit und Tragfähigkeit gewährleistet. Als Korngemisch für die PSS kommt KG2 zum Einsatz.

Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 26 nachgelesen werden. Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw. -verbesserung):



OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 100 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 25 cm
OK (verbessertes) Planum	E_{v2}/E_{vd} = 45 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	entfällt
Aushubsohle	entfällt		

7.2.19 Strecke 1242, Gleis Wandsbek – Hamburg, km 58,800 bis km 59,460

Das Gleis verläuft bis ca. km 59,100 großräumig in einem immer flacher werdenden Einschnitt, der durch die Hammerstr. kurz unterbrochen wird und ab km 59,100 bis km 58,800 in geländegleiche Lage übergeht. Von km 59,460 bis km 59,000 verläuft das neue Gleis im Bestandsgleis. Ab ca. km 59,000 wird das Gleis aus dem Bestandsgleis aus- und in km 58,800 in die Strecke 1120 wieder eingefädelt. Es gelten gemäß Ril 836 somit einerseits die Anforderungskriterien für „Erneuerung/Verbesserung“ und andererseits für „Neubau“. Die Aufschlussergebnisse im Bestandsgleis(km 59,460 -km 59,000) zeigten, dass sich im Niveau Unterkante Planum aufgefüllte nichtbindige Sand und Kiese („alte“ Schutzschichten) befinden. Es handelt sich hierbei um Böden der Bodengruppen [GU], [SE], [SI], [GI]. Sie dienen dem Schutz der darunter folgenden bindigen Böden.

Im Bereich der Ausfädelung bzw. des Neubaus von ca. km 59,000 bis ca. 58,800 (Einbindung in Strecke 1120) wurden im Niveau UK Schotter anstehende nichtbindige Sande (SU, SE) und aufgefüllte nichtbindige Sande [SE] erkundet, die teils von bindigen Sanden (SU*) und Ge-

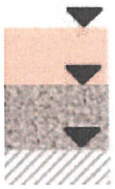
schiebemergel (ST*, TL) unterlagert werden. In dem Bereich von etwa km 59,000 bis km 58,800 wurde in den Tiefen zwischen 2,20 m - 2,50 m unter SO Grundwasser angetroffen.

Für den Gleisbereich, wo sich die Gleislage nicht ändert, sind aus gutachterlicher Sicht keine tragfähigkeitserhöhenden Maßnahmen erforderlich. Es sind Entwässerungsschächte vorhanden und es wird davon ausgegangen, dass diese ggf. instand gesetzt werden.

Maßgebend für die Bemessung der Tragfähigkeit im Bereich der Ausfädelung / Neubaus des Gleises sind die oben beschriebenen anstehenden und aufgefüllten nichtbindigen Sande. Unter Berücksichtigung des hydrologischen Falls 1 kann diesen Böden ein Bemessungsmodul von E_H = 15 - 20 MN/m² zugeordnet werden (fehlende Vorbelastung). Um die geforderte Tragfähigkeit von E_{v2} = 45 MN/m² auf der Oberfläche Planum nachweisen zu können, muss ein Bodenaustausch mit d = 30 cm durchgeführt werden.

Als Bodenaustauschmaterial wird ein Kiesandgemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s mit einem Feinkornanteil $d_{0,063} < 5\%$ empfohlen. Durch den Einbau der erforderlichen PSS von d_{min} = 25 cm kann der Verformungsmodul E_{v2} = 80 MN/m² auf der OK Tragschicht erreicht bzw. nachgewiesen werden. Für die PSS kann das Korngemisch KG 2 verwendet werden. Die empfohlenen Dicken für PSS und Bodenaustausch gewährleisten die Frostsicherheit und Tragfähigkeit. Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 28 nachgelesen werden.

Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw. -verbesserung):



OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 80 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 25 cm
OK (verbessertes) Planum	E_{v2}/E_{vd} = 45 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	d = 25 cm
Aushubsohle	E_{v2}/E_{vd} = 20 MN/m²	-	-

7.2.20 Strecke 1242, Gleis Hamburg – Wandsbek, km 59,460 bis km 58,800

Für das neu geplante Gleis Hamburg - Wandsbek muss der vorhandene Einschnitt bis ca. km 59,200 verbreitert werden, danach verläuft das Gleis etwa im geländegleichen Niveau weiter. Nach Abtrag des Bewuchses und der Böden sowie der befestigten Oberflächen und Bebauungen sind gemäß den Erkundungsarbeiten bindige Böden im zukünftigen Planum zu erwarten. Die bindigen Böden setzen sich aus schluffigen, schwach tonigen und schwach kiesigen Sanden (ST*, TL, Geschiebemergel) sowie schluffigen, schwach kiesigen, lokal schwach organischen Sanden zusammen (SU*). Die Konsistenz ist als steif einzuschätzen. Der Geschiebemergel mit zum Teil wasserführenden Sandlinsen wurde bis 13,0 m unter SO nachgewiesen

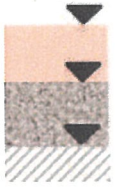
und erstreckt sich von Beginn ca. km 59,460 durchgängig bis km 59,220. Wasser wurde nur im Bereich der bindigen Sande (SU*) ab ca. km 59,200 bis etwa km 58,850 in einer Tiefe von etwa 2,50 m unter SO festgestellt.

Baugrundtechnisch kann diesen Böden für die Bemessung der Tragfähigkeit unter Berücksichtigung des hydrologischen Falls 2 ein Bemessungsmodul von E_H = 15 MN/m² zugeordnet werden. Um die geforderte Tragfähigkeit von E_{v2} = 45 MN/m² auf der Oberfläche Planum nachweisen zu können, muss ein Bodenaustausch mit d = 30 cm ausgeführt werden.

Als Bodenaustauschmaterial wird ein Kiesandgemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s mit einem Feinkornanteil $d_{0,0063} < 5\%$ empfohlen. Durch den Einbau der erforderlichen PSS von d_{min} = 35 cm kann der Verformungsmodul E_{v2} = 80 MN/m² auf der OK Tragschicht nachgewiesen werden. Für die PSS soll das Korngemisch KG 2 verwendet werden. Die empfohlenen Dicken PSS und Bodenaustausch gewährleisten die Frostsicherheit und Tragfähigkeit.

Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 27 nachgelesen werden.

Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw.-verbesserung):



OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 80 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 35 cm
OK (verbessertes) Planum	E_{v2}/E_{vd} = 45 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	d = 30 cm
Aushubsohle	E_{v2}/E_{vd} = 20 MN/m²	-	-

7.2.21 Strecke 1234

Der umzubauende Gleisbereich der Strecke 1234 beginnt in km 15,920 mit dem Einbau einer Weiche und reicht bis ca. km 15,610 (Krbw Str 1120/1234). Das Gleis befindet sich im Einschnitt. Nach Rücksprache mit dem Unterlagenverantwortlichen, Herrn Woldt, und infolge der Umbaulänge wird das Gleis als sog. „Neubau“ eingestuft. Die Rücksprache mit dem Unterlagenverantwortlichen und die Aussage zu den Gleislagefehlern unterstützt diese Entscheidung zusätzlich.

In Auswertung der Erkundungsergebnisse werden im zukünftigen Niveau Unterkante Schotter (Planum) abgesehen von einer Ausnahme Reste von Schutzschichten [SE] und darunter weicher bis steifer Geschiebelehm (ST*, SU*, TL) erwartet. Die Ausnahme bildet der Bereich in km 15,900, wo der Weicheneinbau erfolgen soll. Hier wurde ca. 1,05 m bis 1,25 m unter SO eine 20 cm dicke Muddenschicht (F) erkundet. Die Ausdehnung ist hier noch unbekannt. In den

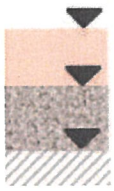
Schürfen wurde Stauwasser auf dem Geschiebelehmhorizont in Tiefen zwischen 0,95 m und 1,05 m unter Schienenoberkante angetroffen.

Maßgebend für die Bemessung der Tragfähigkeit im Bereich des Gleisumbaues sind die oben beschriebenen weichen bis steifen Geschiebelehme und bedingt die Muddenschicht. Unter Berücksichtigung des hydrologischen Fall 1 (Zielzustand) kann diesen Böden ein Bemessungsmodul von E_H = 15 MN/m² zugeordnet werden

Um die geforderte Tragfähigkeit von E_{v2} = 45 MN/m² auf der Oberfläche Planum nachweisen zu können, muss ein Bodenaustausch mit d = 30 cm durchgeführt werden. Örtlich kann der Bodenaustausch im Bereich der Mudde (km 15,900) auch tiefer erforderlich werden. Dies muss operativ vor Ort entschieden werden.

Als Bodenaustauschmaterial wird ein Kiesandgemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s mit einem Feinkornanteil $d_{0,0063} < 5\%$ empfohlen. Durch den Einbau der erforderlichen PSS von d_{min} = 25 cm kann der Verformungsmodul E_{v2} = 80 MN/m² auf der OK Tragschicht erreicht bzw. nachgewiesen werden. Für die PSS soll das Korngemisch KG 1 verwendet werden. Die empfohlenen Dicken für PSS und Bodenaustausch gewährleisten die Frostsicherheit und Tragfähigkeit. Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 29 nachgelesen werden.

Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw. -verbesserung):



OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 80 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 35 cm
OK (verbessertes) Planum	E_{v2}/E_{vd} = 45 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	d = 30 cm
Aushubsohle	E_{v2}/E_{vd} = 15 MN/m²	-	-

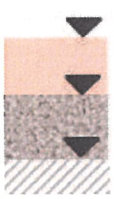
7.2.22 Bahnhofsgleise Gbf Wandsbek km 57,740 bis km 57,250

Im Güterbahnhof Wandsbek werden die bestehenden Bahnhofsgleise rückgebaut und neue Gleise verlegt. Es erfolgt aufgrund der komplexen Lageänderung die Einstufung in „Neubau". Die Bahnhofsgleise befinden sich in geländegleicher Lage. Nach Rückbau der Gleisanlagen sind im Niveau Planum (1,10 m unter SO) maßgeblich schluffige bis stark schluffige, schwach tonige, teils schwach kiesige Sande (ST*, TL, Geschiebelehm) und schluffige Sande (SU*) zu erwarten. Die Konsistenz dieser Böden ist vorwiegend als weich einzuschätzen. Örtlich wurden auch geschüttete nichtbindige Sande [SE], [SU], als Schutzschichtreste aufgeschlossen. Das Grundwasser in Form von Schichtwasser wurde bei < 1,50 m unter SO angetroffen.

Der Berechnungsmodul E_H kann für die im Unterbau anstehenden Böden unter Berücksichtigung des Hydrologischen Fall 2 (Zielzustand) mit E_H = 10 MN/m² angesetzt werden. Um die geforderte Tragfähigkeit von E_{v2} =45 MN/m² auf der Oberfläche Planum nachweisen zu können, wird ein Bodenaustausch mit einer Dicke von 40 cm empfohlen. Durch den Einbau der erforderlichen PSS von d_{min} = 35 cm kann der Verformungsmodul E_{v2} = 80 MN/m² auf der OK Tragschicht nachgewiesen werden. Für die PSS soll das Korngemisch KG 2 verwendet werden.

Die empfohlenen Dicken für PSS und Bodenaustausch gewährleisten die Frostsicherheit und Tragfähigkeit. Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 30 nachgelesen werden.

Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw. -verbesserung):



OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 80 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 35 cm
OK (verbessertes) Planum	E_{v2}/E_{vd} = 45 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	d = 40 cm
Aushubsohle	E_{v2}/E_{vd} = 10 MN/m²	-	-

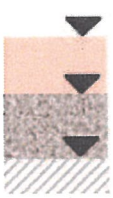
7.2.23 Bahnhofsgleise Gbf Wandsbek km 57,250 bis km 56,740

Die Bahnhofsgleise in diesem Abschnitt sollen in Ihrer Lage nicht verändert werden. Es gelten die Kriterien Verbesserung/Erneuerung. Nach den Erkundungsergebnissen sind für die Bemessung der Tragfähigkeit hauptsächlich schluffige, schwach tonige, teils schwach kiesige Sande (Geschiebelehm) in weicher Konsistenz maßgebend. Unter Berücksichtigung des hydrologischen Falls 2 (Zielzustand)kann diesen Böden nur ein Bemessungsmodul von E_H = 10 MN/m² zugeordnet werden. Örtlich wurden auch geschüttete nichtbindige Sande [SE], [SU], als Schutzschichtreste aufgeschlossen. Das Grundwasser in Form von Schichtwasser wurde bei < 1,50 m unter SO angetroffen.

Um die geforderte Tragfähigkeit von E_{v2} =20 MN/m² auf der Oberfläche Planum nachweisen zu können, muss ein Bodenaustausch mit d = 20 cm durchgeführt werden. Als Bodenaustauschmaterial wird ein Kiesandgemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s mit einem Feinkornanteil $d_{0,0063}$ < 5% empfohlen. Durch den Einbau der erforderlichen PSS von d_{min} = 20 cm kann der Verformungsmodul E_{v2} = 40 MN/m² auf der OK Tragschicht erreicht bzw. nachgewiesen werden. Für die PSS soll das Korngemisch KG 1 verwendet werden.

Die empfohlenen Dicken für PSS und Bodenaustausch gewährleisten die Frostsicherheit und Tragfähigkeit. Alle Ergebnisse der Bemessung und deren Grundlagen können im Anhang 31 nachgelesen werden.

Anforderungen für die Planung (Verformungsmodul, Proctordichte, Schichtdicke für Bodenaustausch bzw. -verbesserung):



OK Tragschicht	E_{v2}/E_{vd} = 40 MN/m²	D_{Pr} = 1,00 [-]	d = 20 cm
OK (verbessertes) Planum	E_{v2}/E_{vd} = 20 MN/m²	D_{Pr} = 0,97 [-]	d = 20 cm
Aushubsohle	E_{v2}/E_{vd} = 10 MN/m²	-	-

7.3 Empfehlungen für die Herstellung der Erdbauwerke

7.3.1 Baugrundverbesserungen

Stehen im Untergrund der Dämme bzw. Einschnitte nicht konsolidierte, weiche organische oder organogene Böden (z.B. Torfe, Mudden), weiche bindige Böden (Ic < 0,75) bzw. andere wenig bis nicht tragfähig oder als unbrauchbar beurteilte Böden an (z.B. künstliche Auffüllungen, Oberboden, Torf), sind Baugrundverbesserungen einzuplanen.

Für die Baugrundverbesserung ist der Austausch nicht- bis geringtragfähiger Böden gegen gut verdichtbare Sand- oder Kiessandgemische meist im Schutz von Verbaumaßnahmen grundsätzlich möglich. Statt im Schutze eines Verbaus kann der Bodenaustausch alternativ auch mit Hilfe eines Seitenschildgerätes (Bild 7) vorgenommen werden.

Bild 7 Bodenaustausch im Schutze eines Seitenschildgerätes (Quelle: Strabag)

Das Bodenaustauschmaterial muss so gewählt werden, dass auf der Oberkante Bodenaustausch die Forderungen E_{v2} = 45 MN/m² und $k_f \geq 10^{-4}$ m/s erfüllt werden.

Zur Reduzierung von Massentransporten können aus geotechnischer Sicht statt Bodenaustausch Verfahren gewählt werden, bei denen durch Einarbeiten von hydraulischen Bindemitteln oder durch Zugabe von scherfesten Materialien mit z.B. Schleusenrüttlern die Untergründe tragfähig hergestellt werden können.

Für die Baugrundverbesserung locker gelagerter Sande unter Verkehrswegen, die bis zu einer Geschwindigkeit v = 160 km/h befahren werden sollen, ist meist die tiefenwirksame Verdichtung mit schweren Walzenzügen auf der Dammaufstandsfläche bzw. auf der Aushubsohle ausreichend.

Oberflächennah anstehende weiche bindigen Böden lassen sich i.d.R. durch Zugabe von hydraulischen Bindemitteln verbessern (Kalk, Zement, Mischbinder), die mit speziellen Fräsen bis zu einer max. Tiefe von 50 cm direkt am Einbauort eingearbeitet werden (Mixed in Place Verfahren = MIP). Bei größeren Mächtigkeiten weicher bindiger Böden kann das MIP-Verfahren auch schichtweise angewendet werden. Dazu wird der Boden bis auf Erfordernis abgetragen; die untere Lage durch MIP verbessert und verdichtet. Darauf wird der unbehandelte Aushubboden in einer Lage d = 30 cm – 50 cm wieder eingebaut; diese Lage im MIP-Verfahren verbessert und verdichtet. Das Ganze wird so oft wiederholt, bis der Sollhorizont erreicht wird. Die Bodenverbesserung mit hydraulischen Bindemitteln ist nur dort alternativ zum Bodenaustausch technisch umsetzbar, wo Niederschlagswasser nicht versickert werden soll.

Unter Berücksichtigung des aktuellen Planungsstandes sind die empfohlenen Maßnahmen zur Baugrundverbesserung als Ergebnis der gleis- und abschnittsbezogenen Bemessung in der Tabelle 19 zusammengestellt.

Die vorgeschlagenen Maßnahmen zur Baugrundverbesserung in Abhängigkeit von der Baugrundbeschaffenheit unterhalb des Planums können auch für die Planung von Baustraßen und Baustelleneinrichtungsflächen angewendet werden.

Da die Wahl des Verfahrens zur Bodenverbesserung u.a. von den hydrologischen Randbedingungen (Entwässerungsanlagen), der Sicherheit des Bahnbetriebes, den Kosten und der Bauzeit aber auch von den betrieblichen Baufreiheiten (Sperrpausen) abhängig ist, muss bis zu deren Klärung eine enge Abstimmung zwischen den Fachplanern und Gutachtern erfolgen.

Tabelle 19 Zusammenstellung der Maßnahmen zur Baugrundverbesserung

Neubau Str. 1249 (Stationen bezogen auf Strecke 1120)	**Baugrundbeschaffenheit (maßgeblicher Boden)**	**Maßnahme**
Gesamter PFA	Oberboden, künstl. Auffüllungen, Bewuchs, Altanlagen	Abtrag und Ersatz gegen Kiessandgemisch bis zum Planum
Str. 1249, Gleis Ahrensburg-Hamburg, Neubau		
km 56,597 – km 57,500	Geschiebemergel, weich	40 cm Bodenaustausch (s. Anhang 10)
km 57,500 – km 58,110	schluffige bis stark schluffige Sande	20 cm Bodenaustausch (außer Dammschüttung neu bis Bovestr. ,km 58.050-57,840) (s. Anhang 11)
km 58,110 – km 58,400	Geschiebemergel, weich	Qualifizierte Bodenverbesserung mit hydraul. Bindemitteln d_{min} = 30 cm (s. Anhang 12)
km 58,400 – km 59,300	Sand vorwiegend enggestuft	25 cm Bodenaustausch (s. Anhang 13)
km 59,300 – km 59,709	Auffüllung, Gartenboden im Gleisdreieck	entfällt (Dammschüttung) (s. Anhang 14)
Str. 1249, Gleis Hamburg - Ahrensburg, Neubau		
km 59,709 - km 58,400	Sand vorwiegend enggestuft	25 cm Bodenaustausch (s. Anhänge 15 und 16)
km 58,400 - km 58,110	Geschiebemergel, weich örtlich steif	Qualifizierte Bodenverbesserung mit hydraul. Bindemitteln d_{min} = 30 cm (s. Anhang 17)
km 58,110 - km 57,500	Geschiebemergel, weich	25 cm Bodenaustausch (s. Anhang 18)
km 57,500 - km 56,597	Geschiebelehm/-mergel, weich	40 cm Bodenaustausch (s. Anhang 19)
Strecke 1120, beide Gleise, Umbau/Neubau		

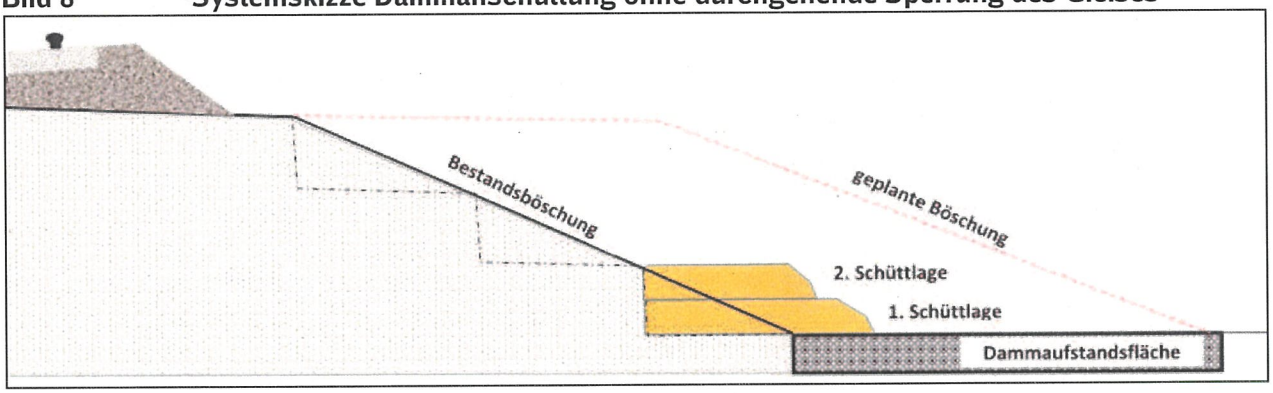
km 59,709 - km 59,150	Sand vorwiegend enggestuft, teils schluffig	Nachverdichtung des Planums (s. Anhang 20)
km 59,150 - km 58,800	Sand, schluffig bis stark schluffig, teils humos	35 cm Bodenaustausch (s. Anhang 21)
km 58,800 - km 58,450	Auffüllungen (Sand/Kies)	25 cm Bodenaustausch (s. Anhang 22)
.km 58,450 - km 58,150	Geschiebelehm/-mergel, weich	Qualifizierte Bodenverbesserung mit hydraul. Bindemitteln d_{min} = 30 cm (s. Anhang 23)
km 58,150 - km 57,740	Auffüllungen (Sand/Kies)	25 cm Bodenaustausch (s. Anhang 24)
km 57,740 - km 56,597	Geschiebelehm/-mergel, weich und Auffüllungen (Sand/Kies)	40 cm Bodenaustausch (Anhang 25)
Strecke 1241		
km 4,200 – km 4,500	Auffüllung (Schotter), Sand	Dammschüttung für nördliches Gleis (s. Anhang 26)
Strecke 1242, „Neubau" Gl Hamburg – Wandsbek (nördliches Gleis)		
km 59,460 – km 58,800	Geschiebelehm/-mergel, steif	30 cm Bodenaustausch (s. Anhang 27)
Strecke 1242, „Verbesserung/Erneuerung" z.T. „Neubau", Gl Wandsbek - Hamburg		
km 59,460 – km 58,800	alte Schutzschichten (Sand, Kies	Im Bestandsgleis keine Maßnahmen, zw. km 59,000 – km 58,800 30 cm Bodenaustausch (s. Anhang 28)
Strecke 1234, „Neubau"		
km 15,920 – km 15,620	Geschiebelehm, Mudde, Schutzschichtreste	30 cm Bodenaustausch (s. Anhang 29)
Gbf Wandsbek, Bahnhofsgleise „Neubau"		
km 57,740 – km 57,250	Sand, stark schluffige bis tonig (Geschiebelehm/-mergel), weich	40 cm Bodenaustausch (s. Anhang 30)
Gbf Wandsbek, Bahnhofsgleise „Verbesserung/Erneuerung"		
km 57,250 – km 56,740	Sand, stark schluffige bis tonig (Geschiebelehm/-mergel), weich	20 cm Bodenaustausch, ggf. keine Maßnahmen (s. Anhang 31)

7.3.2 Dammverbreiterungen

Vor Herstellung der Dammverbreiterungen müssen die Böschungen und die Dammaufstandsflächen bis auf die Oberfläche vollständig vom Bewuchs beräumt werden. Baumwurzeln in Böschungen sind nicht zu Roden sondern nur mit z.B. Kegelfräsen zu beseitigen. Damit wird sichergestellt, dass unkalkulierbare Auflockerungen des Bestandsdammes verhindert werden.

Dammaufstandsflächen müssen für den Baustellenverkehr zum Beispiel durch den Bau von Baustraßen tragfähig hergestellt werden. Anschließend sind von der Dammaufstandsfläche aus bei nicht gesperrten Gleisen nur die erste Stufe der Verzahnung bis in den Bestand hinein herzustellen (Bild 8). Die Höhe der Stufen soll etwa 60 cm hoch sein (entspricht 2 Einbaulagen). Ohne Sperrung des Gleises darf die jeweilige Stufe der Verzahnung in Längsrichtung nur auf kurzen Abschnitten hergestellt werden. Zur Gewährleistung der Standsicherheit muss unmittelbar nach dem Abtrag der ersten Stufe der Auftrag des Dammschüttmaterials mindestens über die alte Böschungsgeometrie hinaus und so breit erfolgen, dass ein Verdichtungsgerät (Platte oder Grabenwalze) zum Einsatz kommen kann. Die Schüttung bis zur vollen Breite des geplanten Dammes kann dann ohne Beeinflussung der Standsicherheit des Bestandsdammes und ohne weitere Sicherungsmaßnahmen hergestellt werden. Auf der Gründungssohle erfolgt der Einbau geeigneter Böden in Lagen d ≤ 30 cm bis zur Unterkante der oberen Tragschichten.

Bild 8 Systemskizze Dammanschüttung ohne durchgehende Sperrung des Gleises



Nur bei Vollsperrung des Gleises ist die Beräumung der Böschung und Herstellung mehrerer Stufen möglich. Dann sollten die Stufen auch weiter in den Bestand eingreifen, denn je weiter die Stufen in den Bestand eingreifen, umso geringer werden die Mitnahmesetzungen des Bestandsbauwerkes infolge Überschüttung und die Setzungen des Neubaugleises ausfallen.

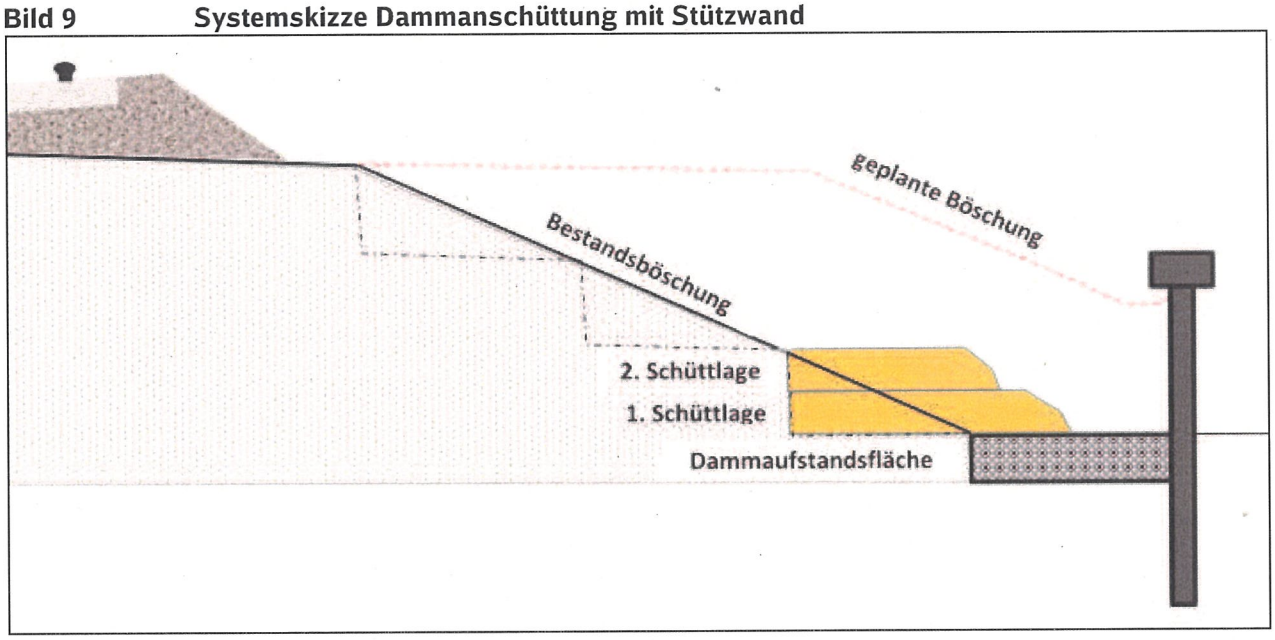
Sollten in den Bestandsdämmen auf größeren Längen gemischtkörnige bzw. feinkörnige Böden dominieren, muss für das Anschüttmaterial eine größere Wasserdurchlässigkeit gewählt werden, als das vorhanden Dammmaterial besitzt. Andernfalls kommt es innerhalb des Dammes ggf. zu Tragfähigkeitsschäden infolge temporärer Durchfeuchtung. Für Dammverbreiterungen empfehlen wir deshalb als Dammbaustoff bis zur Kote Planum Sand bzw. Kiessandgemische der Bodengruppen SI, SW, GE, GI, GW oder SU, GU mit einem Feinkornanteil $d_{0,06} \leq 10\%$ einzuplanen. Die Dichte- und Tragfähigkeitsanforderungen sind in den Tabellen 16 und 17 zusammengestellt.

Dammböschungen sind kurzzeitig nach der Profilierung mit Oberboden anzudecken und zu begrünen. Andernfalls sind die Böschungen in Anhängigkeit von der Erosionsempfindlichkeit

des Dammbaumaterials temporär vor Erosion zu schützen. Auf eine Verzahnung des Oberbodens mit der Dammschüttung ist zu achten.

Um den Grunderwerb zu minimieren, können die Erdkörper durch Stützwände begrenzt werden. Neben Spundwänden, sind aus technischen oder optischen Gründen auch Winkelstützwände, Gabionenwände oder Bewerte-Erde-Konstruktionen über Teilhöhen oder bis zur gesamten Höhe des Dammes planbar (Bild 9).

Bild 9 Systemskizze Dammanschüttung mit Stützwand



Die Abfolge der Schüttung bleibt gegenüber der Erdbauvariante unverändert.

Im PFA 1 sind nach aktuellem Planungsstand Dammverbreiterungen zur Herstellung des Bahnkörpers in folgenden Abschnitten geplant:

1. Bereich Bovestr.
2. Bereich zwischen Hammerstr. und Überwerfungsbauwerk

7.3.3 Einschnittsverbreiterungen

Müssen für den Neubau der Strecke 1249 oder für die Verlegung der Bestandsgleise Einschnitte verbreitert werden, sind die Regelneigungen der Böschungen in Abhängigkeit von den anstehenden Böden einzuhalten (siehe Kapitel 7.3.5). Steilere Böschungen können in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten oberhalb des Einschnittes (z.B. Bebauung, Verkehr) nur geplant werden, wenn die erforderlichen Standsicherheiten nachgewiesen werden.

Ist die technisch wirtschaftlichste Variante - Einschnittsverbreiterung mit Erdbaumaschinen - z.B. wegen der dichten Bebauung oder wegen der daraus resultierenden Geländeinanspruch-

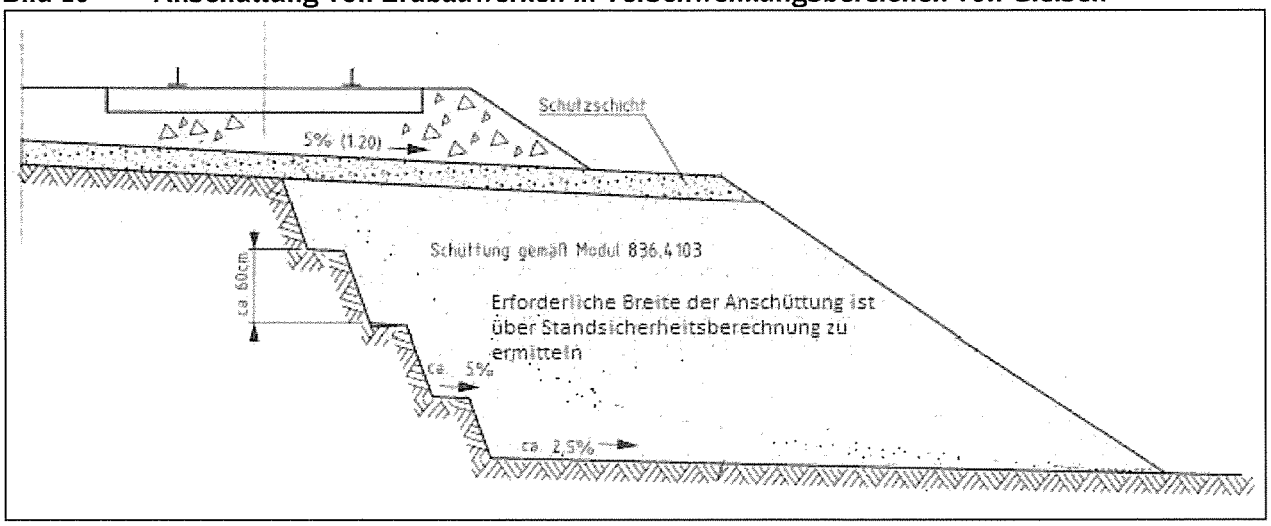
nahme nicht durchgängig planbar, kann durch Einbau von Stützelementen (z.B. Spundwände, Gabionen) der Grunderwerb minimiert werden. Bei der Wahl der Stützkonstruktion sollte aber berücksichtigt werden, dass im Bauzustand ggf. für Baugruben eine temporäre Geländeinanspruchnahme erforderlich wird. Für die Stützkonstruktionen sind die Standsicherheiten für den Bau- und Endzustand rechnerisch nachzuweisen (beachte Kapitel 7.3.5).

Einschnittsböschungen sind kurzzeitig nach der Profilierung mit Oberboden anzudecken und zu begrünen. Andernfalls sind die Böschungen in Anhängigkeit von der Erosionsempfindlichkeit des anstehenden Bodens temporär vor Erosion zu schützen. Auf eine Verzahnung des Oberbodens mit dem anstehenden Boden ist zu achten.

7.3.4 Verschwenkungsbereiche

Im Zuge des Projektes müssen häufig Gleise aus der alten Lage im Bestand in eine neue Lage bzw. auf einem neuen Erdkörper verschwenkt werden. In diesen Verschwenkungsbereichen reicht es in der Regel nicht aus, die Standsicherheit von den mit Neigungen von 1:1,5 geplanten Dammböschungen nur mit böschungsnaher Verzahnung bzw. Anschüttung zu gewährleisten, auch nicht bei Verwendung von Kiessand der Bodengruppen GW, GI. Der Eingriff in den Bestand hinein muss erfahrungsgemäß von der Außenkante des Erdbauwerks im Endzustand oft bis zur künftigen Gleisachse reichen (Bild 10). Da der Eingriff in den Bestand abhängig von den Bodenarten und Eigenschaften des Dammmaterials variiert, kann eine Optimierung nur über Standsicherheitsberechnungen erfolgen.

Bild 10 Anschüttung von Erdbauwerken in Verschwenkungsbereichen von Gleisen



Um ungleichmäßige Setzungen der Gleise in Querrichtung (Querneigung) zu vermeiden, sollte im gesamten Lastabtragungsbereich unter der Schwelle bis etwa 1,5 m unter Schienenoberkante der gleiche Boden eingebaut werden wie im Anschüttungsbereich. Vor der Überschüttung muss die Abtragssohle mit mittelschweren Verdichtungsgeräten nachverdichtet werden, um so den geotechnisch abzusichernden Bereich von 2,0 m unter Schienenoberkante zu verbessern.

7.3.5 Nachweise der Standsicherheit und der Verformungen für Erdbauwerke

Alle Erdbauwerke sind standsicher herzustellen. Bei Dammschüttungen müssen rechnerische Nachweise der Gesamtstandsicherheit und der Standsicherheit der Böschungsoberfläche geführt werden, wenn:

- die Bodenart abhängigen Regelneigungen steiler als nach Tabelle 20 geplant werden und
- der Untergrund bis in relevante Tiefe unter der Aufstandsfläche nicht ausreichend tragfähig ist oder Weichschichten im Untergrund verbleiben sollen.

Für neu zu erstellende Einschnittsböschungen in Lockergestein bis 12 m Höhe dürfen die rechnerischen Nachweise entfallen, wenn:

- der anstehende Boden mindestens mitteldichte Lagerung oder mindestens steife Konsistenz besitzt und
- die Regelböschungsneigung nach Tabelle 20 nicht überschritten ist bzw. nicht steiler geplant wird,
- auf die Einschnittsböschung kein Wasserdruck und keine Verkehrslasten wirken,
- die Geländeoberfläche oberhalb der Böschung eben ist und
- der Untergrund bis in relevante Tiefe unter der Einschnittsohle keine Weichschichten aufweist.

Tabelle 20 Regelneigungen für Dämme und Einschnitte in Lockergesteinsböschungen an Eisenbahnstrecken (aus [U 8])

Bodenart		Gruppensymbol nach DIN 18196	Böschungshöhe	Regelneigung
grobkörnige Bodenarten	weit gestufte und intermittierend gestufte Kiese	GW, GI	0 m - 12 m	1:1,5
	eng gestufte Kiese, intermittierend gestufte und weit gestufte Sande	GE, SW, SI	0 m - 12 m	1:1,7
	Eng gestufte Sande	SE	0 m - 12 m	1:2,0
gemischtkörnige und feinkörnige Bodenarten	Schluffige/tonige und stark schluffige/tonige Kiese	GU, GU*, GT, GT*	0 m - 6 m 6 m - 9 m 9 m - 12 m	1:1,6 1:1,8 1:2,0
	Schluffige/tonige und stark schluffige/tonige Sande	SU, SU*, ST, ST*		
	leicht, plastische Schluffe oder Tone (nur Einschnitt)	UL, TL,		

Werden, um z. B. Grunderwerb zu minimieren, übersteilte Böschungen bzw. Stützkonstruktionen in Böschungen geplant, sind diese der GK 2 zuzuordnen und es müssen dafür rechnerische Nachweise geführt werden. Werden oberhalb der Stützkonstruktionen Böschungen bis zur

Oberkante der Erdbauwerke geplant, dürfen für die Böschungen Nachweise entfallen, wenn die o.g. Ausführungen für Dämme bzw. Einschnitte sinngemäß eingehalten werden.

Nachweise zur Begrenzung der Verformungen für Erdbauwerke dürfen gemäß Ril 836.3001 Abs. 3 (3) entfallen, wenn die konstruktiven Anforderungen zur Ausbildung des Unterbaus nach Modul 836.4101 in diesem Projekt eingehalten werden und der Unterbau nach den Regelungen dieses Moduls als ausreichend tragfähig nachgewiesen ist.

Mit den Empfehlungen für Bodenaustausch oder Bodenverbesserungen, wie sie in der Tabelle 19 im Kapitel 7.3.1 zusammengestellt wurden, werden insbesondere für den Neubau der Strecke 1249 die Forderungen bezüglich der Dichte nichtbindiger bzw. der Konsistenz bindiger Böden über die Tiefe des abzusichernden Bereiches von 2 m unter der Schienenoberkante (Tabelle 16) nicht eingehalten. Bei der Planung der empfohlenen Maßnahmen bleibt ein Teufenbereich zwischen 55 cm bis 75 cm unbehandelt. Wird die Aushubsohle mit schwerem Gerät verdichtet, kann bei nichtbindigen Böden eine regelkonforme Lagerungsdichte bis 2 m unter Schienenoberkante erreicht werden. Bei bindigen weichen Böden im Untergrund, sollte auf die Verdichtung der Aushubsohle verzichtet werde, da durch das Befahren mit Baufahrzeugen erfahrungsgemäß eine Verschlechterung zu erwarten ist. Aus wirtschaftlichen Gründen sollte bei weichem Geschiebelehm/-mergel auf die Einhaltung der Anforderungen des abzusichernden Bereiches verzichtet werden. Andernfalls muss mit einer größeren Flächeninanspuchnahme für tiefere Böschungen oder mit höheren Kosten für tiefere bauzeitliche Verbaumaßnahmen gerechnet werden. Beim Verzicht der geotechnischen Absicherung sind gegenüber einer Verbesserung bis 2 m unter Schienenoberkante zusätzliche Setzungen in der Größenordnung von 2-3 cm zu erwarten. Da diese Setzungen gleichmäßig über längere Abschnitte auftreten, sind sie für den Betrieb als verträglich zu beurteilen. Ferner werden die innerhalb eines Instandsetzungszyklusses von 6 bis 10 Jahren hinnehmbaren längenbezogenen Setzungsdifferenzen nach Ril 836.3001, Bild 1 nicht überschritten.

Um die Standsicherheit der Erdbauwerke bei den vorhandenen Untergrundverhältnissen überhaupt bewerten zu können, wird empfohlen, im Zuge der weiteren Planung Standsicherheitsberechnungen mit repräsentativen Böden im Untergrund und mit variablen Böschungsneigungen durchzuführen, um anhand der Ergebnisse das Erfordernis von Untergrundverbesserungsmaßnahmen ggf. in Verbindung mit Zusatzmaßnahmen in den Erdbauwerken (z.B. Geogitterbewehrung, Bodenverfestigung mit hydraulischen Bindemitteln) bzw. Böschungsstabilisierungen abzuleiten.

Nach Planungsstand ergibt sich das Erfordernis für Standsicherheits- und Verformungsuntersuchungen für die in der Tabelle 21 genannten Bereiche.

Tabelle 21 Zusammenstellung der Erdbauwerke mit Zuordnung in die GK 2

Bereich [km] (Strecke 1120)	Einschnitt/Damm	Baugrund
54,575 - 54,850 br	Einschnitt	Torf und weicher Geschiebemergel bis 1 m unter Einschnittsohle

Die Standsicherheitsnachweise an repräsentativen Böschungen sind nicht Bestandteil dieses Geotechnischen Berichts. Sie sollten aber in der weiteren Planung als Grundlage für die Ausschreibung rechtzeitig erbracht werden.

7.4 Bewertung der dynamischen Stabilität

Gemäß Ril 836.3001 sind beim Neubau von Strecken mit Schotteroberbau und Geschwindigkeiten bis 200 km/h Untersuchungen zur dynamischen Stabilität des Unterbaus/Untergrundes durchzuführen, wenn unterhalb des Unterbaus schwingungsempfindliche Böden im Untergrund verbleiben sollen, bei denen auf Grund von Erfahrungen schädliche Schwingungseinflüsse auf die Gebrauchstauglichkeit des Gleises nicht ausgeschlossen werden können. Als schwingungsempfindliche Böden unter Schottergleisen gelten nach dem derzeitigen Stand der Technik verlagerungsempfindliche Sande mit einem Ungleichförmigkeitsgrad $U < 2{,}0$ und einer bezogenen Lagerungsdichte $I_D < 0{,}5$, bindige Böden mit einer Konsistenzzahl $I_C < 0{,}6$, organische Böden der Gruppen HN, HZ und F nach DIN 18 196 sowie organogene Böden der Gruppen OU, OT, OH und OK nach DIN 18 196.

Im PFA 1 sind bzw. verbleiben schwingungsempfindliche Böden im Unterbau/Untergrund der geplanten Strecke 1249 in den in Tabelle 22 aufgeführten Bereichen. Das Erfordernis für dynamische Untersuchungen wird in gleicher Tabelle bewertet.

Bei Maßnahmen im Bestand (Strecken 1120, 1234, 1241, 1242) und Bahnhofsgleise, die sich auf Anpassungen des Tragschichtsystems beschränken, dürfen Untersuchungen zum dynamischen Stabilität des Untergrundes entfallen, wenn sich aus den Betriebserfahrungen ableiten lässt, dass Gleislagestörungen nicht auf Schwingungsvorgänge zurückzuführen sind. Bei Nachfragen beim zuständigen Bezirksleiter Fahrbahn der DB Netze AG konnte ein entsprechender Zusammenhang nicht bestätigt oder ausgeschlossen werden. Deshalb wurden Bereiche mit Gleislagestörungen (Überschreitung des Eingreifschwellenwertes $S_{r,100}$) aus den Gleismessschrieben der Streck 1120 identifiziert und in der Örtlichkeit überprüft. Als Ursache für die Störungen sind eher örtlich begrenzte Probleme mit der Streckenentwässerung wahrscheinlich. Sind dann noch bindige Böden nah unter den Tragschichten führt die Vernässung zu Aufweichungen, die dann als dynamisch kritisch bewertet werden müssen.

Tabelle 22 Zusammenstellung der Bereiche mit (temporär) schwingungsempfindlichen Böden

Bereich [km] (Strecke 1120)	schwingungsempfindliche Bodenart	(Erst-)Bewertung der dynamischen Stabilität
56,650 - 57,250	Geschiebelehm/-mergel, weich I_c lokal <0,6, > 2,75 m mächtig	lokal kritisch, vertiefte Untersuchung wird empfohlen
57,700 - 57,870	Geschiebelehm/-mergel, weich I_c lokal <0,6, bis 3,9 m mächtig	lokal kritisch, vertiefte Untersuchung wird empfohlen
58,175 - 58,350	Geschiebelehm/-mergel, weich I_c lokal <0,6, bis 2,6 m mächtig	lokal kritisch, vertiefte Untersuchung wird empfohlen
59,300 - 59,600	Sand, Bodengruppe SE, > 5 m mächtig, lokal $C_U < 2$, $I_D < 0,5$	lokal kritisch, vertiefte Untersuchung wird empfohlen

Die dynamischen Untersuchungen sind nicht Bestandteil dieses Geotechnischen Berichts. Sie werden aber in einer Ergänzung bzw. Fortschreibung des Geotechnischen Berichts als Grundlage für die Ausschreibung rechtzeitig erbracht.

7.5 Empfehlungen für die Bahnkörperentwässerung

Entwässerungsanlagen sind entsprechend der Angaben der Module 836.4601 bis 836.4603 so zu planen, zu bemessen und herzustellen, dass sie dem Bahnkörper zuströmendes Wasser fassen bzw. dem anstehenden Boden ungebundenes Wasser entziehen und dieses auf kürzestem Wege schadlos abführen. In der Regel erfolgt das durch Ausbildung von entsprechenden Quergefällen mit Regelneigung von 5% auf allen Planien, die Unterlage von Bahngräben bzw. Bahnmulden parallel zum Gleis und je nach Versickerungseigenschaften der Böden im Unterbau/Untergrund ggf. mit unter dem Graben anzuordnenden Tiefenentwässerungen. Bei Dammlage kann auch das Erfordernis zur Planung von Dammfußgräben bestehen, wenn das angrenzende Gelände zum Bahnkörper geneigt ist oder über die Dammböschung ablaufendes Wasser auf (Fremd-)Gelände z.B. Erosionsschäden verursachen kann. In Bahnhöfen entfallen in der Regel die Bahngräben; hier wird das Niederschlagswasser bei Eignung flächig in den Untergrund versickert, oder über Entwässerungsleitungen zur Vorflut geleitet.

Grundsätzlich sollte bei versickerungsfähigem Baugrund und ausreichendem Abstand zur Grundwasseroberfläche auf dem Bahnkörper anfallendes Wasser auch versickert werden. In Bereichen, wo der Untergrund zur Versickerung geeignet ist, sollten alle Auffüllungen (Dammschüttung und Tragschichten) auch aus versickerungsfähigen Böden geschüttet werden.

In der DWA-A 138[10] wird der Abstand zwischen der Einleitstelle und der Grundwasseroberfläche bezogen auf den mittleren höchsten Grundwasserstand mit mindestens 1 m vorgegeben. Eine Unterschreitung des sogenannten Sickerraumes für die Versickerung von < 1 m ist nur in begründeten Ausnahmefällen auf 0,5 m reduzierbar und nur für unbedenkliche Niederschlagsabflüsse gestattet. Dafür ist eine Zustimmung der Wasserbehörde erforderlich.

Wegen der möglichen Grundwasserschwankungen ist bei Unterschreitung des Sickerraumes von weniger als 0,5 m von direkter Einleitung in das Grundwasser auszugehen, was aus Gründen des Grundwasserschutzes nicht zulässig ist.

Bei der Wahl und Bemessung der Entwässerungsanlagen sind die Festlegungen der Ril 836.4601 und der DWA-A 138 zu beachten.

Versickerungsfähige Böden und ein ausreichend großer Abstand zur Grundwasseroberfläche sind vom Bauanfang in Hamburg-Hasselbrook bis zum km 59,270 zu erwarten, so dass hier versickert werden kann.

In Abschnitten, wo eine Versickerung möglich ist, kann die untere Planie (Aushubsohle) auch ohne Quergefälle geplant werden.

Für Abschnitte mit nah an die Geländeoberfläche anstehenden schwach durchlässigen Geschiebeböden oder Beckenschluffen/-tonen, die als Grundwasserhemmer bzw. -stauer wirken, kann sich das Niederschlagswasser auf diesen Böden temporär aufstauen. In diesem Fall, wie auch, wenn bei Strecken auf Erdkörpern zwischen der geplanten SO und dem maßgebenden höchsten Grundwasserspiegel nicht mindestens ein Abstand von 1,5 m eingehalten wird, soll das ungebundene Bodenwasser (aus Niederschlags-, Stau- und/oder Grundwasser) dem Boden mit Tiefenentwässerungen (TE) entzogen, weitergeleitet und zur Vorflut abgeführt werden. Diese Maßnahme dient der Absicherung von Eisenbahnstrecken gegen Grundwasser.

In den Anhängen 10 bis 31 zu diesem Bericht wurden auch Angaben zum Grundwasserstand bezogen auf die Schienenoberkante angegeben.

Im PFA 1 stehen nur 2 nutzbare Vorfluter zur Verfügung, ein Siel unter der Brücke Hammersteindamm in km 59,620 und eine weitere Einleitungsmöglichkeit befindet sich in km 57,418. In den übrigen Bereichen ist keine nutzbare Vorflut vorhanden.

Ist eine Versickerung in den Untergrund bzw. die Einleitung von Wässern aus der TE in öffentliche Vorfluter nicht möglich, müssen Alternativen gefunden und diese mit den späteren Betrei-

---

[10] Arbeitsblatt DWA-A 138 Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, April 2005

bern und den zuständigen Wasserbehörden abgestimmt werden. Dabei sollten neben dem Grundwasserschutz auch wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt werden.

Die Ril 836.1001 nennt bei hohen Grundwasserständen zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit als Alternativen zur TE die Ausbildung von Trögen oder die Anhebung von Gradienten. Die Gradientenanhebung führt zu erheblichen Mehrkosten durch z.B.:

- Teilweise Neutrassierung,
- Anhebung der Straßenüberführungen (SÜ) bzw. Absenkung der Gleise unter SÜ,
- Verbreiterung des Bahnkörpers durch höhere Böschungen (Geländeinanspruchnahme),
- Vergrößerung der Gleisabstände zu Bestandsgleisen,
- Anpassung der Lärmschutzmaßnahmen.

Die Planung von Trogstrecken hat vergleichbare Kostensteigerungen wie die Gradientenanhebung zur Folge. In Bezug auf abzuleitende Wassermengen und den Bedarf an Vorflutern gibt es bei beiden Varianten keine signifikante Verbesserung zur Planung der Gleisanlagen mit Schotterbett auf annähernd gleicher Gradiente wie die Bestandsgleise.

Werden Tiefenentwässerungen in Abschnitten ohne Vorflut geplant, muss auch ein neues Siel wahrscheinlich bis zur Wandse als Vorfluter geplant und gebaut werden. Je nach Wassermenge sind unter Berücksichtigung der Neigungsverhältnisse bzw. der Topographie zusätzlich Speicherbecken und Hebeanlagen notwendig, die nicht in der Vorplanung enthalten sind.

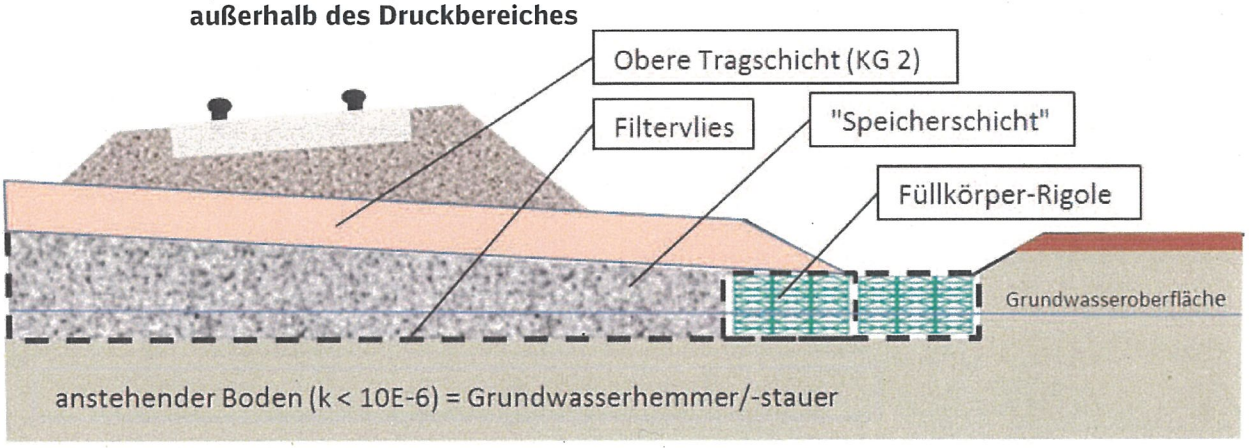
Die Entscheidung ob in Abschnitten ohne geeignete Vorflut neue Vorfluter, Gradientenanhebungen oder der Bau von Trogstrecken geplant werden sollen, sollte auf der Basis von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen, bei denen Bau- und Betriebskosten verglichen werden, gefällt werden. Darüber hinaus sind die Auswirkungen u.a. auf die Umwelt und den Verkehr in die Entscheidung einzubeziehen.

Aus technischer Sicht und nach den positiven Erfahrungen in einem anderen Projekt (Dreigleisigkeit Stelle-Lüneburg) gibt es zur Entwässerung von Streckenabschnitten ohne Vorflut die Möglichkeit den Porenraum der Böden zur Aufnahme des Bemessungsregens zu nutzen oder durch Einbau geeigneter Boden ggf. in Verbindung mit dem Einbau von zusätzlichen Speicherelementen außerhalb des Druckbereiches von Verkehrslasten zu schaffen. Dafür sind unter der oberen Tragschicht aus dem Korngemisch KG 2 mit d = 35 cm nur solche Böden zu verwenden, die bei Einstau von Wasser unter der Belastung aus dem Eisenbahnverkehr nicht ihre Kornfestigkeit verlieren (z.B. enggestufte Sande oder enggestufte Kiese bzw. gebrochener Schotter). Der Porenraum dieser Böden sollte mindestens 25% betragen. Außerhalb des Druckbereiches der Eisenbahnverkehrslasten können gemäß TM 2011-240 I.NVT 4 ohne UIG/ZIE auch Füllkörper-Rigolen (z.B. Rausikko Box mit 95 % Speichervolumen) unter oder

neben den Randwegen angeordnet werden. Da bei Verwendung der Rigolen das Speichervermögen 3-4-fach höher als in einem Boden ist, könnte so der Bodenaustausch minimiert werden.

Um das Eintragen von Feinanteilen in diese wasserspeichernde Schicht zu vermeiden, die zur Verringerung des Porenvolumens führt, muss die Schicht mit einem Filtervlies ummantelt werden (unten und seitlich). Im Bild 11 wird die beschriebene Entwässerungsvariante mit ihren wesentlichen Schichten und Bauteilen dargestellt.

Bild 11 Systemskizze Speicherschicht unter der oberen Tragschicht und Füllkörperrigolen außerhalb des Druckbereiches

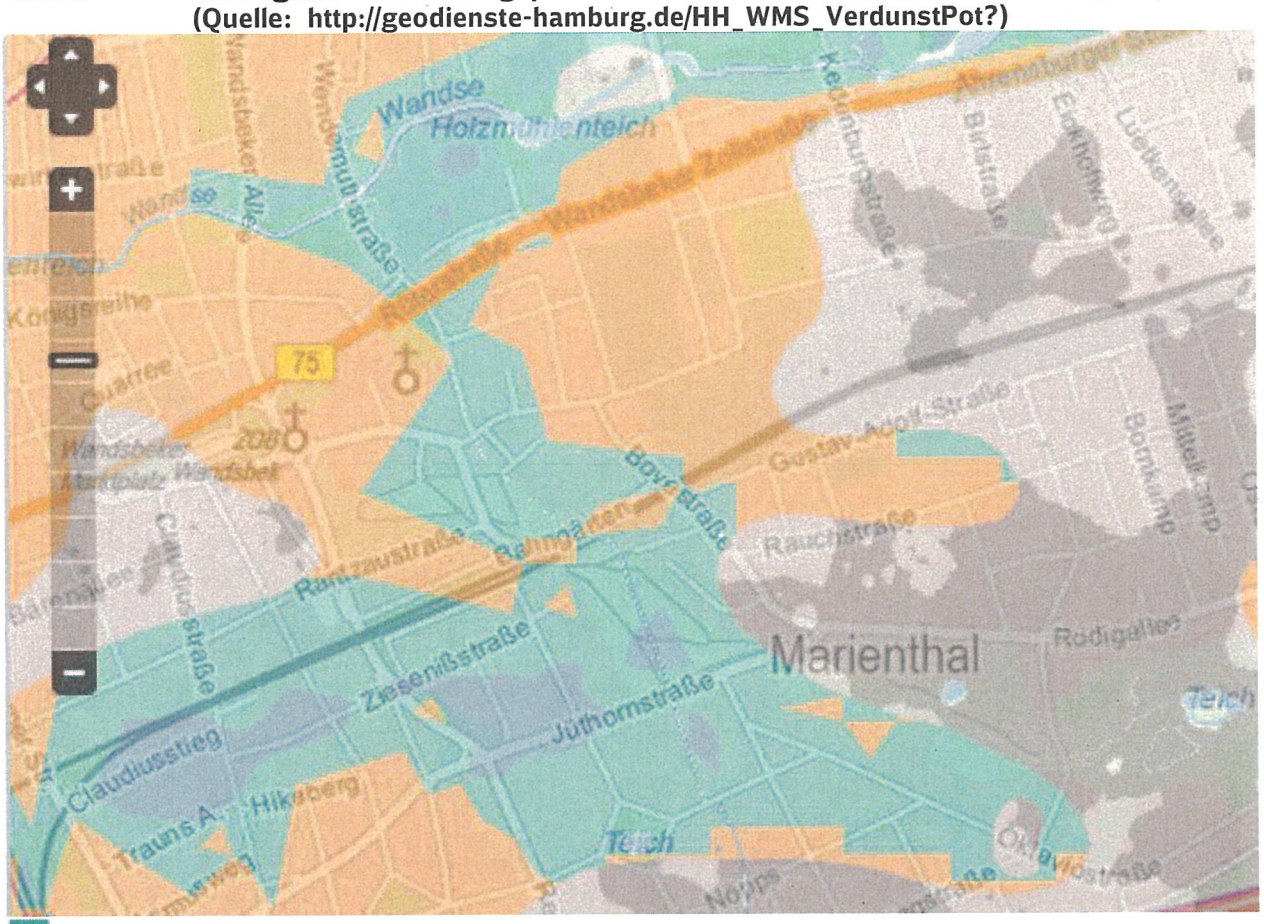


Die Bemessung der Schichtdicke soll unter Ansatz der Regenhäufigkeit n = 0,1 erfolgen. Liegt die Unterkante der so bemessenen Schicht tiefer als 1,5 m unter SO, kann die Unterkante auf 1,5 m festgelegt werden, wenn zusätzlich der Nachweis geführt wird, dass durch Rückstau des abfließenden Oberflächenwassers kein unzulässiger Einstau in den Oberbau von Gleisanlagen erfolgt. Die maximale Einstauhöhe in den Oberbau darf nicht höher als 20 cm unter Unterkante Schotter für die Strecke 1249 und 35 cm unter Unterkante Schotter für die Strecke 1120. Je nach den topographischen Verhältnissen muss außerdem die Geländebruchsicherheit gemäß DIN 4085 nachgewiesen werden.

Bei Berücksichtigung dieser Vorgaben sind die Forderungen aus Ril 836.1001 zur Absicherung von Eisenbahnstrecken gegen Grundwasser formal eingehalten.

Die Entwässerung der durch den Bemessungsregen belasteten Schicht erfolgt wegen des geringen Abstandes zur Geländeoberfläche über Verdunstung und Versickerung mit reduzierter Versickerungsrate in die tieferen Schichten. Auch wenn es nach dem Stand der Wissenschaft für eine Verdunstung keine gesicherte Berechnungsmethode gibt, findet eine Verdunstung statt. Ein Beleg dafür ist die Verdunstungspotentialkarte der Freien und Hansestadt Hamburg (Bild 12).

Bild 12 **Auszug aus Verdunstungspotentialkarte Freie und Hansestadt Hamburg (Quelle: http://geodienste-hamburg.de/HH_WMS_VerdunstPot?)**



Niedrigster Grundwasserflurabstand im Nassjahr 1 bis 2,5 m unter GOK: Verdunstungspotenzial: hoch; Böden mit hohem Verdunstungspotential aufgrund von Grundwasseranschluss (grundwasserbeeinflusste Böden)

Oberkante des Nichtleiters größer 2 m unter GOK: Verdunstungspotenzial: niedrig; Böden mit niedrigem Verdunstungspotential aufgrund mangelnder Speicherfähigkeit für Niederschlagswasser und fehlendem Grundwasseranschluss

Oberkante des Nichtleiters 1 bis 2 m unter GOK: Verdunstungspotenzial: mittel; Böden mit mittlerem Verdunstungspotential aufgrund hoher Speicherfähigkeit für Niederschlagswasser sowie Stauwasserbildung nach Starkregenereignissen

Werden die Empfehlungen für Streckenabschnitte ohne vorhandene Vorflut umgesetzt und die vorgenannten Nachweise geführt, ist die Sicherheit bei der Betriebsführung gewährleistet. Das diese Bauweise eine sichere und gebrauchstaugliche Bauweise ist, lässt sich aus dem schadensfreien Betrieb der vorhandenen Gleise der Strecke 1120 mit vergleichbaren Vorflutbedingungen ableiten.

Umweltrelevante Einflüsse auf die Planung der Entwässerungsanlagen sind in den entsprechenden Sondergutachten nachzulesen und zu berücksichtigen.

8 Schlussfolgerungen und Gründungsempfehlungen Ingenieurbauwerke

8.1 Flächengründung

Stehen an den geplanten Bauwerksstandorten ausreichend tragfähig beurteilte Böden im Untergrund an, oder können oberflächennah anstehende wenig oder nicht tragfähige Böden ausgetauscht oder verbessert werden, dürfen aus geotechnischer Sicht Flachgründungen geplant werden.

Bauwerke, für die unter Berücksichtigung der Baugrundverhältnisse im PFA 1 eine Flachgründung empfohlen werden kann, werden nachfolgend aufgeführt:

- Überwerfungsbauwerk, km 59,456
- Krbw EÜ über Strecke 1234, km 59,264
- EÜ (F) PU Claudiusstraße, km 58,808
- EÜ (F) PU Schloßgarten, km 58,644
- EÜ (F) Bf. Claudiusstraße, km 58,469
- EÜ (F) PU Wandsbek, km 58,146, tiefenwirksame Nachverdichtung der Sohle
- EÜ Gehölzgraben, km 58,006
- Erweiterung EÜ Bovestraße, km 57,846; unter Widerlager West Baugrundverbesserung mittels HDI
- EÜ Luetkensallee, km 56,716; mit lokalem Bodenaustausch bis 2 m

Im Anhang dieses Geotechnischen Berichts werden für jedes der oben aufgeführten Bauwerke geotechnische Datenblätter beigefügt, die u.a. folgende Angaben beinhalten:

- Morphologie, Geologie
- Baugrund/Bemessungsprofil
- Grundwasser (Tagwasserstände, Bemessungswasserstand)
- Betonaggressivität und Korrosionswahrscheinlichkeit des Grundwassers
- Charakteristische Bodenkennwerte
- Bemessungswerte des Sohlwiderstands
- Sonstige Hinweise zu Baugruben, zur Bemessung der Hilfsbrückengründung, Wasserhaltung, Baugrundverbesserung

Mit diesen Angaben ist die Bemessung des Bauwerkes bzw. seiner Gründung möglich.

Grundsätzlich sind bei Flachgründungen Mutterboden / Oberboden, aufgeweichte bindige Böden (Geschiebelehm /Geschiebemergel) künstliche Auffüllungen und andere nicht tragfähig beurteilte Böden aus der Gründungszone zu entfernen. Der Austausch sollte in der Regel gegen ein gut verdichtbares Sand-Kies-Gemisch (Bodengruppen SW / GW / SI / GI nach DIN

18196) oder Magerbeton erfolgen. Bis zu welcher Tiefe Bodenaustausch oder Verbesserungsmaßnahmen machbar sind, muss neben technisch wirtschaftlichen Aspekten auch unter baubetrieblichen Randbedingungen und der Verkehrsführung überprüft werden. In jedem Fall müssen die Bodenverbesserungen auf die nicht vorbelasteten Gründungsflächen konzentriert werden. Auf Flächen, die durch das Bestandsbauwerk bzw. einen Erdkörper vorbelastet sind, reicht in der Regel eine Beseitigung aushubbedingter Auflockerungen der Baugrubensohle durch Verdichtung mit mittelschwerem Gerät.

Sofern der Einbau Sand-Kies-Gemisches zur Bodenverbesserung geplant wird, ist zu beachten, dass dieses über die Fundamentgrundrissmaße hinaus einen Überstand besitzen muss. Dieser muss mindestens so groß wie dessen Dicke sein, da sich die Belastung im Kiessand etwa unter 45° ausbreitet. Das Sand-Kies-Gemisch ist lagenweise einzubringen und so zu verdichten, dass ein Verdichtungsgrad von $D_{Pr} \geq 0{,}97$ erreicht und nachgewiesen wird.

Für das Sand-Kies-Gemisch können folgende charakteristische Erfahrungswerte angesetzt werden:

- Wichte über Wasser γ_k = 19 kN/m3
- Wichte unter Wasser γ'_k = 11 kN/m3
- Reibungswinkel φ'_k = 35°
- Kohäsion c'_k = 0 kN/m2
- Steifemodul E_{sk} = 50 MN/m2

Wird Beton als Bodenersatz verwendet, kann auf den seitlichen Überstand gegenüber der Grundrissfläche verzichtet und der Steifemodul erhöht werden.

Für die Planung von Flächengründungen sind u.a. die Festlegungen der DIN EN 1997-1, Kap. 6 zu beachten.

Bei der Bemessung der Gründung ist darauf zu achten, dass die Grundbruchsicherheit im Bau- und Endzustand zu gewährleistet ist und dass keine bauwerksschädlichen Setzungen oder Setzungsunterschiede eintreten werden.

Bei flach gegründeten Bauwerken auf tragfähigem Baugrund sind Setzungen zwischen ca. 1 cm und ca. 2 cm möglich. Insbesondere auf vorbelastetem Baugrund (z.B. bei Neugründung eines Bauwerkes am alten Standort, bei Bauwerken in jetzt vorhandenen Dämmen bzw. im Baugrund unter der vorhandenen Geländeoberfläche) sind die möglichen Setzungen nach Inbetriebnahme meist kleiner als 1 cm. Flach gegründete Bauwerke auf bindigen nicht vorbelasteten Untergrund lassen Setzungen > 2 cm bis zu ca. 4 cm erwarten. Auf konsolidiertem bzw. vorbelastetem Baugrund werden die möglichen Setzungen deutlich kleiner als 2 cm auftreten.

Bei hohen Grundwasserständen ist vorzugsweise der Bodenaustausch im Schutze von Verbauten und mit Grundwasserabsenkung vorzunehmen. Bei Verwendung von Beton kann dieser auch als Unterwasserbeton eingebaut werden. Das Erfordernis von Nachweisen der Auftriebssicherheit der Unterwasserbetonsohlen ist in Abhängigkeit von den jeweiligen hydrologischen Verhältnissen an den Bauwerksstandorten und den geplanten Maßnahmen zur Trockenhaltung der Baugruben zu prüfen.

Die Angaben zu den Bemessungswasserständen in den Datenblättern beruhen im Wesentlichen auf während der Bohrarbeiten gemessenen Grundwasseranschnitten sowie auf Angaben zu den Grundwassergleichen aus dem Internetportal Geo-Online Hamburg (http://www.geoportal-hamburg.de/Geoportal/geo-online/index.html).

8.2 Pfahlgründungen

Stehen an den geplanten Bauwerksstandorten im Untergrund nicht ausreichend tragfähig beurteilte Böden an, oder können diese nicht verbessert werden, sind aus geotechnischer Sicht Tiefgründungen auf Pfählen zu planen. Im PFA 1 sind solche Verhältnisse nicht angetroffen worden.

Lediglich für den Pfeiler der EÜ Bovestraße ist alternativ zur Flächengründung auch eine Tiefgründung auf Bohrpfählen möglich. Im Anhang dieses Geotechnischen Berichts werden charakteristische Werte für die Pfahlmantelreibung, den Pfahlspitzendruck und die Bettungsziffer für die alternative Gründung angegeben.

Zur Aufrechterhaltung des Bahnbetriebes werden in der Regel die Ingenieurbauwerke im Schutz von Hilfsbrücken errichtet. Die Hilfsbrücken werden bei der Bahn typischer Weise über Pfähle gegründet. Als Pfähle kommen dabei gerammte Stahlträgerprofile zur Anwendung, die in die Baugrubenverbauten als kombinierte Spundwand integriert oder hinter der Baugrubensicherung angeordnet werden. Bemessungswerte für gerammte Spundwandprofile sind in den Anhängen für Ingenieurbauwerke angegeben worden. Kann der Nachweis der Tragfähigkeit für die Hilfsbrückengründung mit den in den Anhängen angegebenen Bemessungswerten nicht erbracht werden, können auf Anforderung des Planers auch für alternative Pfahlarten Bemessungswerte angegeben werden.

8.3 Baugruben, Verankerungen

Bei der Erneuerung der EÜ sind vorrangig verbaute Baugruben zu planen. Als Verbauelemente für Baugruben in Bahnkörpern sollten gemäß Ril 804.4110 [U 9] vorzugsweise Spundbohlen zur Anwendung kommen. Zur Beschränkung der Kopfverformungen der Verbauelemente sind in Abhängigkeit von den geometrischen Randbedingungen Aussteifungen oder Verankerungen mit Verpressankern nach DIN EN 1537 zu planen. Verbauwände für Baugruben unter Hilfsbrü-

cken sowie parallel zum Gleis verlaufende Verbauwände zur Stützung des Eisenbahnunterbaus sind mindestens als wenig nachgiebig gestützte Baugrubenwände im Sinne von EB 67 der EAB auszuführen. Dafür müssen Aussteifungen kraftschlüssig verkeilt werden bzw. müssen Verpressanker nach DIN 1537 geprüft und auf mindestens 80 % der für den nächsten Bauzustand errechneten Kraft vorgespannt und festgelegt werden.

Für die Berechnung der Verbauwände ist ein erhöhter aktiver Erddruck anzusetzen.

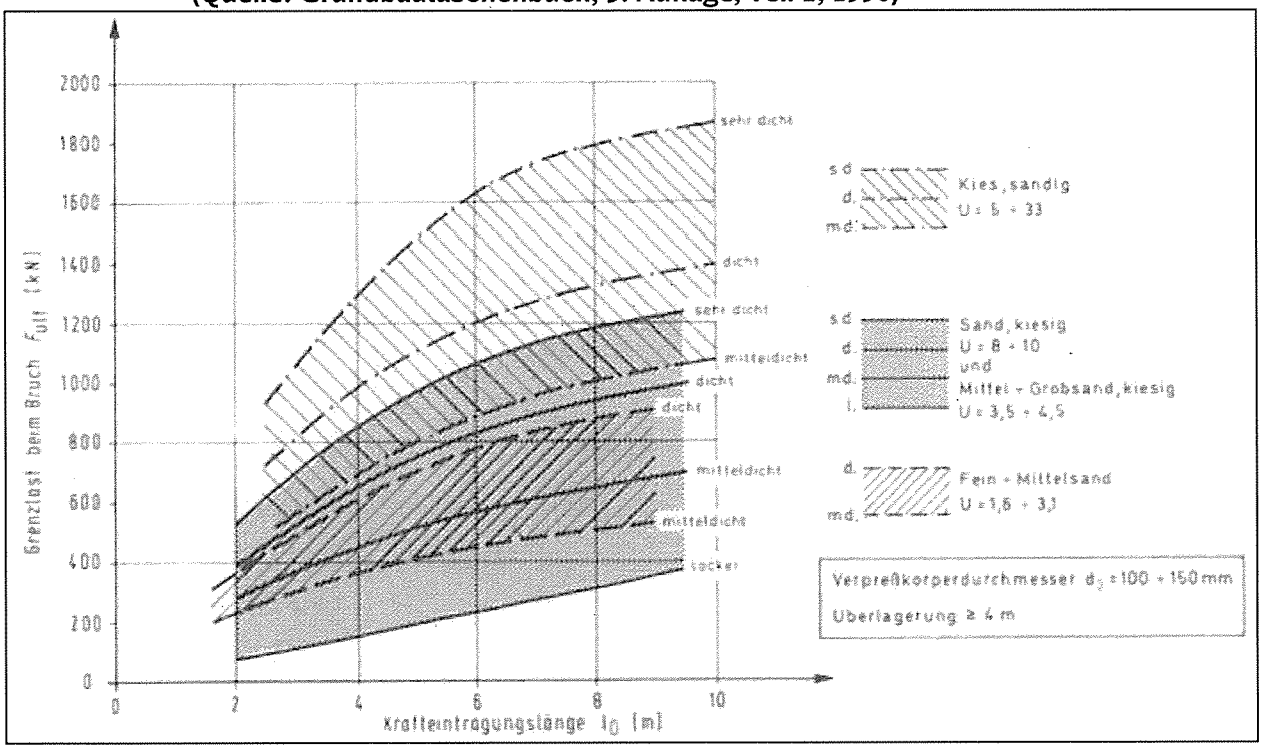
Wenn Grundwasser höher als 50 cm unter Baugrubensohle ansteht und dieses ggf. nicht abgesenkt werden darf, sind Spundwände mit dichten Schlössern und Dichtsohlen zu planen. Als horizontale Dichtung werden Unterwasserbetonsohlen vorgeschlagen.

In Abhängigkeit von der Lage der Sohle sind ggf. Sicherungen gegen Auftrieb der Sohle durch z.B. Einbau von Zugankern (Verpressanker nach DIN 1537) zu berücksichtigen.

Entsprechend den Regeln der Technik wird die Tragfähigkeit von Ankern nicht durch Berechnung, sondern aus Probebelastungen ermittelt. Jedoch ist im Rahmen einer Vordimensionierung die Anwendung von Erfahrungswerten zulässig.

Zur Vordimensionierung können die Grenzlasten für nichtbindige Böden aus dem Bild 13 in Abhängigkeit von der Krafteintragungslänge abgelesen werden.

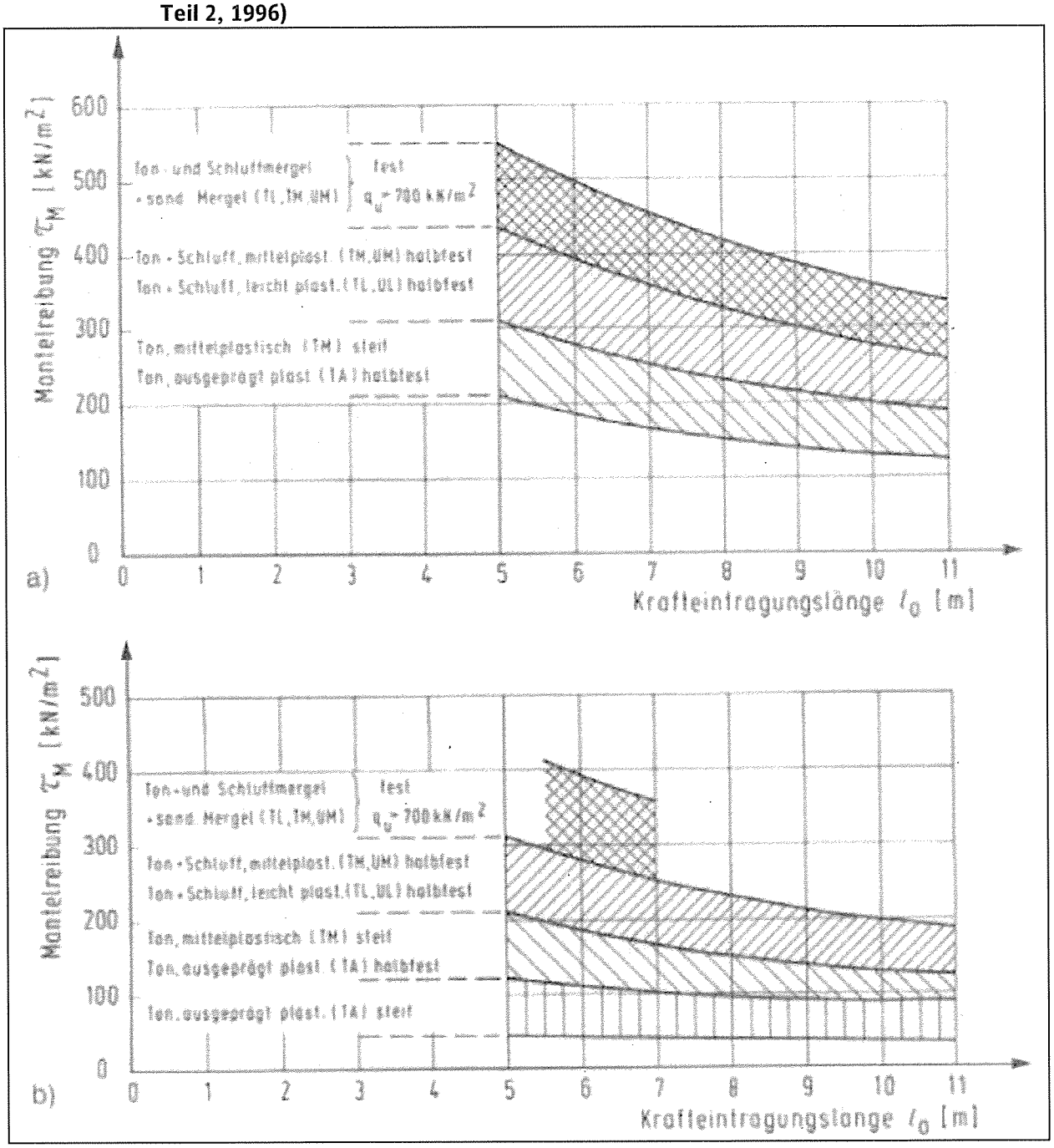
Bild 13 Bemessungsdiagramm Grenzlasten von Verpressankern in nichtbindigen Böden (Quelle: Grundbautaschenbuch, 5. Auflage, Teil 2, 1996)



Für die Vorbemessung eines Verpressankers im mitteldicht gelagertem Sand (S, md) kann bei 4 m Krafteintragungslänge eine Bruchlast von $F_{ult} = R_{a,k} \approx 500$ kN angesetzt werden ($R_{a,k}$ = charakteristischer Herausziehwiderstand eines Verpressankers).

Liegen die Verpresskörper in mindestens steifen bis halbfesten Geschiebelehm/-mergel (Mg, st/Mg, hf) sind die Grenzwerte für die Mantelreibung τ_m aus dem Diagramm Bild 14 abzulesen. Über die Mantelfläche des Verpresskörpers sind dann der charakteristische Herausziehwiderstände zu errechnen, wobei die üblichen Verpresskörperdurchmesser zwischen 100 mm und 150 mm gewählt werden.

Bild 14 **Bemessungsdiagramme Grenzwerte der Mantelreibung bei Ankern in bindigen Böden (mit und ohne Nachverpressung) (aus Grundbau-Taschenbuch, 5. Auflage, Teil 2, 1996)**



a) mit Nachverpressung
b) ohne Nachverpressung Grenzlasten

Zur Nachweisführung muss ein charakteristischer Herausziehwiderstand aus den Ergebnissen von Eignungsprüfungen abgeleitet werden. Dementsprechend müssen diese Eignungsprüfungen ausgeschrieben und rechtzeitig vor den eigentlichen Ankerarbeiten ausgeführt werden.

Für die Nachweisführung sind Probeanker an mindestens 3 Ankern je Hauptbodenart durchzuführen.

Hinweise: Die freie Ankerlänge l_f von Verpressankern sollte mindestens 5,0 m betragen. Bei einer größeren freien Ankerlänge l_f zwischen Bauwerk und Verpresskörper wird ein größeres Bodenvolumen hinter der Wand aktiviert. Somit kann in der Bruchfuge eine größere Reaktionskraft Q_k mobilisiert werden.

Für die Ermittlung der Ankerlast ist der Nachweis in der tiefen Gleitfuge für die Bemessungssituation BS-T zu führen. Die übrigen Ankernachweise gilt die Bemessungssituation BS-P.

9 Gründungsempfehlungen Lärmschutzwände

9.1 Allgemeines

In der Tabelle 4 am Anfang des Berichts sind die nach dem aktuellen Lärmschutzkonzept zu planenden Lärmschutzwände hinsichtlich ihrer Lage und Stationierung zusammengestellt.

Lärmschutzwände in Erdbauwerken werden mit einem Regelabstand zur Gleisachse von ≥ 3,80 m und einem Regelabstand der Gründungen in Längsrichtung von 5 m geplant. Für die Gründung der Lärmschutzwände sind die bei der Bahn üblichen Stahlrohrgündungen mit mittleren Rohrlängen von ca. 5-6 m zu empfehlen.

Können Lärmschutzwände nicht auf vorhandenen oder neu zu planenden Ingenieurbauwerken errichtet werden, müssen sie i.d.R. als Torsionsbalken vor den Ingenieurbauwerken auf Pfählen gegründet werden. Bemessungswerte für die Gründung von Sonderbauwerken werden im Kapitel 9.2 vorgegeben. Reichen die Aufschlüsse der ersten Bohrkampagne und deren Teufen an den Standorten der Sonderbauwerke nicht aus, müssen nach Festlegung der Bauwerksgeometrie zusätzliche Aufschlüsse in einer weiteren Bohrkampagne niedergebracht werden.

Für die Planung der Gründungsarbeiten für Lärmschutzwände sind die Baugrundlängsschnitte (Unterlage 18.5) mit den darin aufgetragenen Bohrprofilen und Sondierdiagrammen, die Ergebnisse der Klassifizierung im Kap. 5.4 und die Ril 804.5501 „Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken“ zu berücksichtigen. Für die LSW sind die Aufschlüsse mit rd. 8 m Teufe maßgebend. Ferner müssen die speziellen Normen in der VOB Teil C (z.B. Rammarbeiten) beachtet werden.

Grundwasserproben konnten in den Lärmschutzwandabschnitten lediglich in einigen verrohrten Bohrungen an Brückenstandorten entnommen werden. Die Grundwasserproben wurden auf Beton angreifende und stahlkorrosive Inhaltsstoffe untersucht. Für die Planung können die Ergebnisse aus Kap. 6.6.1 herangezogen werden. Eine Zuordnung zu den Expositionsklassen ist von weiteren äußeren Einflüssen abhängig und muss durch den Fachplaner erfolgen.

Neben dem Grundwasser aus der gesättigten Zone kommen die Gründungen der LSW i.d.R. mit Stauwasser, das sich temporär über den flächig vorhandenen, schwach durchlässigen Geschiebeböden bilden kann, in Kontakt. Stauwasserproben konnten nicht gewonnen werden. Dementsprechend sollte bei der Bemessung der Gründungen bezüglich Betonaggressivität auf der sicheren Seite liegend von „schwach betonangreifend“ ausgegangen werden. Bezüglich Korrosion sollte die Mulden- und Lochkorrosionswahrscheinlichkeit des Grundwassers bei Korrosion unter Wasser bzw. bei Korrosion an der Wasser/Luft-Grenze als gering und die Flächenkorrosionswahrscheinlichkeit bei Korrosion unter Wasser bzw. bei Korrosion an der Wasser/Luft-Grenze ist als sehr gering angenommen werden.

9.2 Bemessung der Gründung

Den anstehenden Böden können unter Berücksichtigung der Erfahrungen des Gutachters für erdstatische Berechnungen im Zusammenhang mit der Planung der LSW die charakteristischen Bodenkennwerte aus Kapitel 5.7 dieses Berichts den Baugrundschichten, wie sie in den Baugrundlängsschnitten dargestellt sind, zugeordnet werden. Da der angetroffene Oberboden i.d.R. abgetragen werden soll, werden für diesen Boden keine Bemessungswerte vorgegeben.

Für geplante Dammanschüttungen aus nichtbinigen (rolligen) Böden können auf der sicheren Seite liegend die charakteristischen Bodenkennwerte für mitteldichte Auffüllungen angesetzt werden. Sollten bindige Böden oder mit hydraulischen Bindemitteln verbesserte Böden für die Auffüllungen verwendet werden, sind dafür gesonderte Kennwerte durch eine geotechnischen Sachverständigen festzulegen. Hier ist eine Abstimmung zwischen den Gewerkeplanern zwingend anzuraten.

Wegen des geringen Eigengewichtes der Lärmschutzwände werden für die Bemessung der Pfahllängen und des Pfahlquerschnittes die horizontalen Einwirkungen maßgebend sein.

Für die Bemessung der Gründung können unter Berücksichtigung der Anwendungsgrenzen die Erfahrungswerte aus der EA Pfähle, Kapitel 5.4.4.2 herangezogen werden. Sie gelten für offene Rohrquerschnitte bis 1600 mm Durchmesser, die mindestens 2,5 m in den tragfähigen Boden einbinden. Zur Berücksichtigung von Abgrabungen ist für den oberen Meter keine Mantelreibung anzusetzen. Als tragfähig gelten mindestens steife bis halbfeste bindige Böden (Schichten Mg, st/Mg, hf/Lg, st/Lg, hf) bzw. mindestens mitteldicht gelagerte Sande (A, md/S, md/ S, d).

In der EA Pfähle können zur Bemessung von Fertigrammpfählen aus Stahl- bzw. Spannbeton charakteristische (Erfahrungs-)Werte für Pfahlmantelreibung und Pfahlspitzendruck aus den Tabellen 5.1 bis 5.4 entnommen werden. Für offene Stahlrohre müssen diese Werte mit den Modellfaktoren η_s bzw. η_b nach Tabelle 5.5 der EA Pfähle multipliziert worden.

Für die Vorbemessung der Stahlrohrpfähle werden in der Tabelle 24 den jeweilige Baugrundschichten charakteristische Werte für die Pfahlmantelreibung und den -spitzendruck zugewiesen. Diese Werte sind auf der sicheren Seite gewählt. Höhere und differenziertere Werte erfordern zusätzliche Untersuchungen, die bei Bedarf erst mit der nächsten Aufschlusskampagne ermittelt werden können. Für offene Stahlrohre sind die Modellfaktoren $\eta_s = 1{,}1*e^{-0{,}63*D}$ bzw. $\eta_b = 0{,}95*e^{-1{,}2*D}$ zu berücksichtigen. Geschlossene Stahlrohre lassen zwar höhere Widerstände bei geringeren Rohrquerschnitten erwarten, können aber bei den örtlichen Verhältnissen meist nicht auf die statisch erforderliche Tiefe gerammt werden.

Tabelle 23 Charakteristische Kennwerte für die Pfahlbemessung gerammter Fertigpfähle (ohne Berücksichtigung der Modellfaktoren)

Schicht / Bodenart	Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ [kN/m²]		Pfahlspitzendruck $q_{b,k}$ [MN/m²] [1]	Bettungsziffer k_s [MN/m³] = E_s/D [2]
	s_{sg}	$s_{sg}=s_g=0{,}1D$		
A,lo	15	15	-	10/D
A,md	30	40	-	20/D
A,we	-	-	-	5/D
A,st	15	15	-	10/D
S,lo	20	20	-	15/D
S,md	30	40	2,2 / 4,2	25/D
S,d	65	95	4,0 / 7,6	40/D
Lg,we / Mg,we	10	10	-	15/D
Lg,st / Mg,st	20	20	0,35 / 0,60	20/D
Lg,hf / Mg,hf	30	35	0,50 / 0,80	30/D
BT,st / BU,st	20	20	0,35 / 0,60	5/D
HN / HZ	-	-	-	0,1/D

[1] in Abhängigkeit von bezogener Pfahlkopfsetzung s/D = 0,035 / 0,1
[2] D = Pfahldurchmesser, für D > 1 ist D = 1 zu setzen

Werden die Pfähle nach Lockerungs- bzw. Entspannungsbohrungen eingebracht, darf Spitzenwiderstand wegen fehlender Pfropfenbildung nicht in Ansatz gebracht werden. In diesen Fällen kann der Vertikallastabtrag nur über Mantelreibung erfolgen. Werden die Pfähle ausgebohrt und bis unten ausbetoniert, darf der volle Spitzenwiderstand angesetzt werden.

Für den rechnerischen Nachweis des horizontalen Gleichgewichtes und der Verformungsbeschränkung wird die Bemessung i.d.R. unter Ansatz einer Bettung vorgesehen. Bei einer Pfahlbemessung nach dem Bettungsmodulverfahren können die Bettungsmoduli nach der Gleichung $k_s = E_s / D$ angesetzt werden.

Hierbei sind:
k_s: horizontaler Bettungsmodul, E_s: Steifemodul, D: Pfahlschaftdurchmesser bis $D \leq 1$ m.

Die Bettungsmodulverteilung ist in den Auffüllungen linear zunehmend (dreiecksförmig) anzusetzen. Dabei darf zur Berücksichtigung einer möglichen Abgrabung für den oberen Meter keine Bettung angesetzt werden. Darunter wird bei Einbindung in den gewachsenen Baugrund für die jeweilige Schicht der Ansatz eines konstanten Bettungsmoduls empfohlen. Der mit dem Bettungsmodulverfahren ermittelte Bodenwiderstand darf aber nicht größer als der Bemessungswert des Erdwiderstandes für den entsprechenden Teil der Einbindetiefe sein.

Für die gemäß Ril 804.5501 im Zuge der Bemessung nachzuweisenden dynamischen Reaktion des Gesamtsystems können die dynamischen E-Moduli $E_{s,dyn}$ errechnet werden, indem die unter Kapitel 5.7 Tabelle 15 aufgeführten Steifemoduli $E_{s,k}$ mit folgenden abgeschätzten Erhöhungsfaktoren multipliziert werden:

Schicht A, lo / S, lo: Erhöhungsfaktor 6

Schicht A, md /S, md:	Erhöhungsfaktor	4
Schicht S, d:	Erhöhungsfaktor	2,5
Schicht Lg, we / Mg, we:	Erhöhungsfaktor	8
Schicht Lg,st / Mg,st:	Erhöhungsfaktor	6,5
Schicht Lg, hf / Mg, hf:	Erhöhungsfaktor	5

10 Gründungsempfehlungen Hochbauten

10.1 Allgemeines

Für die Ausrüstungsgewerke sind im PFA 1 ein ESTW-A Modulgebäude in Hassselbrook nördlich wenige Meter neben dem Bahnkörper, bei ca. km 59,180 mit den Abmessungen 6 m x 12 m, eine Erweiterung des ESTW-Z-Gebäudes in Ohlsdorf (Anbau für weitere Bedienplätze) und ein Gleichrichterwerk in Wandsbek nördlich neben dem Bahnkörper bei ca. km 57,660 mit den Abmessungen 15 m x 21 m geplant. Der annähernd ebene Standort für das ESTW-A wird derzeit als BE-Fläche für die Baumaßnahme der FHH Umverlegung der Hammerstraße genutzt. Auf der Fläche für das Gleichrichterwerk sind entlang der DB Grundstücksgrenze derzeit dichter Baumbewuchs und Grasflächen anzutreffen. An der nordwestlichen Bebauungsecke ist eine Stützwand vorhanden, die teilweise zurückzubauen ist.

Im Bereich des **ESTW-A** wurden 1,2 m mächtige, durchlässige, sandig kiesige Auffüllungen mit geringen Anteilen von Ziegel-und Betonresten aufgeschlossen, die mitteldicht gelagert und damit ausreichend tragfähig zu beurteilen sind. Darunter folgen gut durchlässige und frostunempfindliche Mittel- und Feinsande (nach DIN 18196 Bodengruppe SE) in mitteldichter Lagerung. Bis zur Endteufe von 7 m wurde Geschiebemergel in steifer Konsistenz angeschnitten, der als schluffiger Sand, schwach tonig, schwach kiesig anzusprechen ist. Grundwasser wurde am 28.07.2015 in einer Tiefe von 3,3 m unter GOK eingemessen.

Im Bereich des **Gleichrichterwerkes Wandsbek** sind unter der Geländeoberfläche bis max. 2,8 m mächtige Auffüllungen angetroffen worden. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um schwach kiesige, feinsandige Mittelsande in lockerer Lagerung. In der Auffüllung wurden bei der BS HH 652 zwischen 0,9 m und 1,9 m unter GOK Schlacke durchteuft und darunter bis 2,5 m unter Gelände Ziegel, die wahrscheinlich von einem alten Fundament stammen. Als Nebenbestandteile wurden auch Glas und Metall und Steine (Ziegelbruch) in der Auffüllung angetroffen. Unterlagert werden die Auffüllungen von Sanden und schluffigen Sanden (Schmelzwassersanden) in Wechsellagerung mit eingeschalteten, schwach durchlässigen, feinsandigen Schlufflagen, die in der Mächtigkeit 0,5 m bis 1,0 m durchteuft wurden und immer erst unter der Grundwasseroberfläche anstehen. In den BS HH 651/652 wurde der feinsandige Schluff ohne plastische Eigenschaften in mitteldichter Lagerung 8,7 m bzw. 7,9 m unter GOK angeschnitten und konnte bis zur Endteufe von 10 m nicht durchfahren werden. An der Südwestecke des geplanten Standortes sind ab 2,3 m bis 3,25 m unter GOK schwach tonige, schluffige Sande zum Teil in weicher Konsistenz aufgeschlossen worden, die von einer 35 cm dicken Lage eines nicht tragfähigen Sand-Torf-Gemisches unterlagert sind. Grundwasser wurde an allen Aufschlusspunkten je nach Lage zwischen 3,3 m und 4,3 m unter Gelände angeschnitten. In der BS HH

551 steht das Grundwasser unter geringem Druck. Hier war am 14.10.2014 ein Anstieg von 5 cm zwischen Anschnitt und Ruhewasserstand eingemessen worden.

Nach den Schlagzahlen der schweren Rammsondierungen sind die Sande bis ca. 4 m unter GOK locker bis an die Grenze zu mitteldicht und darunter bis zur Endteufe mitteldicht gelagert.

Die Aufschlussergebnisse sind in der Unterlage 18.5.16 dargestellt.

10.2 Gründungsempfehlung

Bei ESTW-A Modulgebäuden handelt es sich in der Regel um raumgroße Fertigteile, die mit Kran am Aufstellort abgesetzt werden. Die ESTW-A besitzen einen Kabelkriechkeller, so dass die Gründungssohle bei etwa 1,0 m unter Gelände und damit in der Auffüllung liegt.

Das **ESTW-A Gebäude Hasselbrook** kann flach gegründet werden. In der Gründungsebene sind größere Ziegel- und Betonreste zu beseitigen und durch geeigneten Boden zu ersetzen. Außerdem muss die Sohle mit einer mittelschweren Verdichterplatte mit mindestens 5 Übergängen verdichtet werden. Ggf. ist eine 10 cm Sauberkeitsschicht unter dem Fundament aus gut verdichtbarem Sand anzuordnen. Wasserhaltungsmaßnahmen sind nicht erforderlich.

Wegen der im Baufeld für das **Gleichrichterwerk Wandsbek** angetroffenen Schlacke, der Fundamentreste und der Torflage, die alle als unbrauchbar bzw. zum Teil nicht tragfähig zu beurteilen sind, wird ein Abtrag aller Auffüllungen einschließlich der Stützwand empfohlen. Nach Absiebung bzw. Aussortieren der unbrauchbaren Stoffe und des Torfes kann der so aufbereitete Boden lagenweise bis zur Fundamentunterkante wieder eingebaut werden. Die Aushubsohle ist mit mittelschweren Verdichterplatten mit mindestens 5 Übergängen zu verdichten. Auf den Einbaulagen ist mindestens ein Verdichtungsgrad D_{Pr} = 0,97 nachzuweisen. Bei Einhaltung dieser Empfehlungen kann das Gebäude flach auf Streifenfundamenten bzw. flächig auf einer Fundamentplatte gegründet werden.

Für die Vorbemessung der Flächengründung für das ESTW-A Gebäude kann ein abgeschätzter Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands von 200 kN/m² angesetzt werden.

Für das Gleichrichterwerk können mittig belastete z.B. 1m breite Streifenfundamente 1m tief frostfrei gegründet mit einem Bemessungswert des Sohlwiderstandes $\sigma_{R,d}$ = 520 kN/m² bemessen werden.

Nachweise für die Flächengründungen sind gemäß Abschnitt 6 des EC 7 zu führen. Je nach Entfernung der Gebäude zum Einschnitt (gilt für ESTW-A) bzw. zum Bahnkörper sollte für den Standsicherheitsnachweis eine temporäre Abgrabung von 1 m (z.B. für nachträgliche Leitungsverlegungen) berücksichtigt werden.

Mögliche Setzungen können in der Größenordnung bis 2 cm auftreten, von denen der größte Teil innerhalb der Bauzeit abklingen wird.

Aus geotechnischer Sicht empfehlen wir das ESTW-A Gebäude in die geotechnische Kategorie GK1 und das Gleichrichterwerk in die GK 2 einzustufen.

Für die weitere Planung sind die Ergebnisse der Klassifizierung gemäß Kapitel 5.4 und die charakteristischen Bodenkennwerte gemäß Kapitel 5.7 zu berücksichtigen.

Geböschte Baugruben im Sand und in weichen bindigen Böden sind mit einer Neigung von 45° zu planen. Baugruben in steifen bindigen Böden (Geschiebemergel/-lehm) dürfen temporär mit einer Neigung von 60° geböscht werden. Bei der Planung und Ausführung von Baugruben ist die DIN 4124 zu beachten.

10.3 Gebäudeentwässerung

ETWA-Modulgebäude:

Da die oberflächennah angetroffenen Auffüllungen und die darunter anstehenden Sande gut durchlässig sind, die Einleitstelle bis zur Grundwasseroberfläche > 1 m beträgt, kann anfallendes Niederschlagswasser versickert werden. Für die Versickerung kann mit einem geschätzten Durchlässigkeitsbeiwert $k_f = 5 \times 10^{-5}$ gerechnet werden.

Gleichrichterwerk Wandsbek:

Die, wie unter Kapitel 10.2 beschrieben, aufbereiteten Sande unter der Gründungsebene und die bis zur Grundwasseroberfläche anstehenden Sande sind als durchlässig zu beurteilen. Da die Einleitstelle bis zur Grundwasseroberfläche > 1 m beträgt, kann anfallendes Niederschlagswasser versickert werden. Für die Versickerung kann mit einem abgeschätzten Durchlässigkeitsbeiwert $k = 5 \times 10^{-5}$ gerechnet werden.

11 Empfehlungen Straßen/Wege

11.1 Allgemeines

Im PFA 1 werden folgende Straßenbaumaßnahmen geplant:

- Verbindungsweg zwischen Claudiusstraße und Schlossgarten,
- Bahngärten,
- Bovestraße,
- Gustav-Adolf-Straße.

Der Verbindungsweg wird nördlich der Strecke mit wenigen Metern Abstand parallel zum Gleis neu geplant. Die anderen Straßen sind vorhanden und müssen wegen der Verbreiterung des Bahnkörpers in Richtung Norden bzw. aufgrund der Erneuerung der EÜ Bovestraße in ihrer Lage angepasst werden. Im Bereich des Verbindungsweges ist das Gelände zwischen den Straßen flach wellig; mit Laub- u. Nadelgehölzen, Sträuchern und Gras bewachsen; GOK variiert zwischen Koten ca. NN +11,04 m bis NN +12,14 m. Unter der bewachsenen Geländeoberfläche stehen aufgefüllte, holozäne und/oder pleistozäne Sande mit organischen Bestandteilen (Bodengruppe OH) bis max. 1,05 m u. GOK und darunter folgend enggestufte Sande (Fein- und Mittelsande; Bodengruppe SE) in mitteldichter Lagerung an, in dem lokal steifer, sandiger Geschiebemergel (Bodengruppen ST*/TL) eingeschaltet ist (bis 0,7 m mächtig).

Im Straßenzug Bahngärten - Bovestraße - Gustav-Adolf-Straße bildet die Bovestraße den Tiefpunkt. Der Baubereich ist durch Bauwerke, Stützwände und Verkehrsflächen geprägt. Unter der befestigten Geländeoberfläche stehen die Tragschichten des Oberbaus und sandige kiesige Auffüllungen (Bodengruppe OH, SE, SU, SI) und zum Teil schluffige Sande (Bodengruppe SU*) vereinzelt mit Wurzel- u. Betonresten locker bis mitteldicht gelagert an. Darunter folgen holozäne und/oder pleistozäne enggestufte Sande (Bodengruppe SE) in mitteldichter teils dichter Lagerung und nachfolgend sandiger Geschiebelehm/-mergel (Bodengruppen SU*/ST*/TL) in weicher bis steifer Konsistenz.

Im Bereich EÜ Bovestraße wird durch den Straßenbaulastträger eine Unterlage zur Grundwasser-absenkung betrieben.

11.2 Bemessung der Tragschichten

Wie der Straßenaufbau in Hamburg zu bemessen ist, ist in der Entwurfsrichtlinie Nr. 1 Standardisierter Oberbau mit Asphaltdecken für Fahrbahnen, Ausgabe 2013, Fassung 06/14 (ER1) geregelt. Als Bauweise für Fahrbahnen wurden vom Planer Asphaltdeckschichten in Verbindung mit Schottertragschichten vorgegeben. In Abhängigkeit von der Tragfähigkeit und Frost-

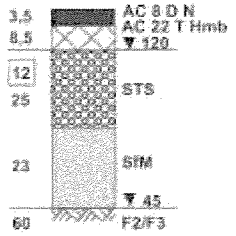
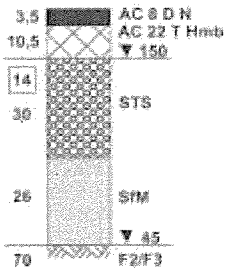
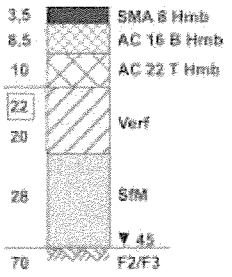
empfindlichkeit der im Unterbau/Untergrund anstehenden Böden kann zusätzlich noch eine Frostschutzschicht erforderlich werden.

Nach der Beanspruchung der Straßen wurden für den Verbindungsweg die Belastungsklasse BK 0,3, für die Bahngärten und Bovestraße die BK 10 sowie für die Gustav-Adolf-Straße die BK 1,0 festgelegt.

Unabhängig von der Belastungsklasse ist auf dem Planum immer ein Verformungsmodul E_{v2} = 45 MN/m² nachzuweisen. Dazu muss bei Sand im Planum nah am optimalen Wassergehalt verdichtet werden. Wässern des Bodens vor den Verdichtungsübergängen kann dafür notwendig werden. Bei Geschiebeböden im Planum sollte in der Planung immer eine Verbesserung mit hydraulischen Bindemitteln geplant werden. Bindemittelart und -menge sind rechtzeitig in Eignungsuntersuchungen festzulegen. Alternativ zur Bodenverbesserung mit hydraulischen Bindemitteln kann auch ein Bodenaustausch der Geschiebeböden gegen grobkörnige Böden vorgesehen werden. Mit den vorgenannten Maßnahmen ist der geforderte Verformungsmodul auf dem Planum erreichbar.

Für die Straßenbaumaßnahmen ist nach ER1[11] folgender Aufbau zu planen:

Bild 15 Tragschichtaufbau gemäß ER112

Maßnahme:	**Verbindungsweg**	**Gustav-Adolf-Straße**	**Bahngärten / Bovestraße**
Belastungsklasse:	BK0,3	BK1	BK10
Tragschichtaufbau nach ER1:			
Arbeiten zur Planumsverbesserung:	Verdichtung; ggf. Auffüllung bis Planum	Verdichtung; ggf. Auffüllung bis Planum	Verdichtung; ggf. Auffüllung bis Planum

AC Asphaltbinder
SMA Splittmastixasphalt
STS Schottertragschicht
SfM Schicht aus frostunempfindlichen Material
Verf Verfestigung
F2/F3 Frostempfindlichkeit im Planum anstehender Böden

In den Anhängen32 bis 35 dieses Berichts wurde für jede der Straßen eine Beschreibung des Baugrundes mit Angaben zum Grundwasseranschnitt, zum Bemessungswasserstand, zur

[11] Entwurfsrichtlinie Nr. 1 Standardisierter Oberbau mit Asphaltdecken für Fahrbahnen Ausgabe 2013 Fassung 06/14

Durchlässigkeit, zur Frostempfindlichkeit und Tragfähigkeit zusammengestellt. Ferner sind die Tragschichtdicken, Vorgaben zur Verdichtung, zum Material für die Tragschichten und Hinweise in den Anhängen zusammengefasst.

11.3 Grundsätze zur Qualitätssicherung

Für die Schottertragschicht gelten die Materialanforderungen der entsprechenden Technischen Lieferbedingungen (TL[12]) und die Anforderungen für die Herstellung der ZTV SoB.**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Es wird empfohlen für die Schottertragschicht die Körnung 0/45 zu planen. Grundsätzlich sollte die Schottertragschicht bis max. 30 cm Schichtdicke (im verdichteten Zustand) in einer Lage eingebaut werden. Bei Dicken darüber sind 2 Lagen zu planen.

[12] Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau, Ausgabe 2004/Fassung 2007, TL SoB-StB 04

12 Kabeltiefbau

12.1 Allgemeines

Für die Planung des Kabeltiefbaus können die Baugrundverhältnisse aus den über den gesamten PFA 1 verteilten Aufschlüssen abgeleitet werden. Die Ergebnisse sind in Baugrundprofilen in der Unterlage 18.5 dargestellt und abgelegt. Die Baugrundschichten können zwischen den Bohrprofilen interpoliert werden. Reicht die Erkundungstiefe für einzelne zu planende Unterlagen nicht aus, müssen ggf. zusätzliche Untersuchungen ausgeführt werden. Damit ist in jedem Fall für tiefere Baugruben und größere Rohrvortriebe zu rechnen.

12.2 Schächte

Werden Schächte zwischen bzw. nah am Gleis eingebaut sind Baugruben mit senkrechten Wänden zu planen. In Abhängigkeit von der Tiefe sind die Verbauten statisch zu bemessen. Das Erfordernis dafür kann sinngemäß nach den Regelungen in Ril 836.4305, Abs. 2 und Bild 1 beurteilt werden. Für die Bemessung von Verbauten sind die für den Streckenabschnitt maßgebenden charakteristischen Bodenkennwerte der im Kapitel 5.7 anzusetzen.

12.3 Kabeltrassen

Bei der Planung der Kabeltrassen sind die Regelungen der Ril 836.4101, Abs. 6.2 zu beachten. Insbesondere in Einschnitten mit schwach durchlässigem Untergrund sollte statt der durchlässigen Bettungsschicht möglichst ein Dränelement verwendet werden, da sonst die Sohlen der Bahngräben ggf. tiefer zu legen sind.

Bei Kabelkanalanlagen, die bis an Eisenbahnüberführungen verlegt werden müssen, sind die Tiefpunkte des Kanals mehrere Meter weg vom Bauwerk zu planen. Dadurch wird sichergestellt, dass es bei temporärer Wasserführung infolge von Niederschlägen vor den Kammermauern der Eisenbahnüberführungen nicht zu Ausspülungen kommt.

12.4 Kabelquerungen

Kabelquerungen können in offener Baugrube oder als Rohrvortrieb geplant werden. Bei der Planung der Kabelquerungen sind die Grundsätze der Ril 836.4501 und die ATV Rohrvortriebsarbeiten (DIN 18319) zu beachten. Da die Lage der Querungen zum Zeitpunkt der Bearbeitung nicht festgelegt werden konnten, können hier nur allgemeingültige Aussagen und Empfehlungen formuliert werden, die spätestens bis zur Ausschreibung fortgeschrieben sein müssen.

Als erste Orientierung für die Baugrundverhältnisse an Querungsstandorten dienen die nächstgelegenen Baugrundprofile in den Baugrundlängsschnitten Unterlage 18.5.

Für den Einbau der Schächte bzw. an Start und Zielgruben sind die Baugruben zu verbauen. Für Verbauten sollten möglichst Kanaldielen oder Elementverbauten verwendet werden. Bohlträgerverbauten sind möglichst nicht zu planen. Zur Verformungsbeschränkung sind in Abhängigkeit von der Größe der Baugruben ggf. Aussteifungen anzuordnen.

Lassen es die betrieblichen Baufreiheiten zu, sind Querungen vorzugsweise in offenen Gräben herzustellen. Wenn die Grabensohlen in den schwach durchlässigen Geschiebeböden bzw. in Schluffen oder Tonen liegen, sollen unmittelbar nach dem Aushub die Rohre verlegt und verfüllt werden. Andernfalls muss temporär mit Stauwasser auf diesen Böden gerechnet werden. Die Böden sind sehr stark witterungsempfindlich.

Bei der Planung von Querungen in Erdbauwerken sind die Grundsätze und Regelungen der Ril 836.4501 zu beachten.

13 Sonstiges

13.1 Bautechnische Hinweise

Die Geschiebeböden, angetroffen als leicht plastische Tone und schluffigen und tonige Sande der Bodengruppen SU*, ST* und TL, neigen bei Wasserzutritt schnell zum Aufweichen. Bauzeitliche Planien sind vor Vernässung entsprechend zu schützen. Der Abtrag auf Endtiefe soll bautechnologisch erst erfolgen, wenn unmittelbar nach Abnahme bzw. Freigabe zur Überschüttung der Einbau gesichert ist.

Ist das Befahren des Planums mit schweren Transportfahrzeugen unvermeidbar, ist ein E_{v2} > 30 MN/m^2 auf dem Planum erforderlich, damit keine Schädigung des Planums eintreten kann (z.B. tiefe Spurrillen). Bei aufweichungsgefährdeten Böden wie den Geschiebeböden ist zur Aufrechterhaltung des Baubetriebes eine Bodenverbesserung des Planums mit hydraulischen Bindemitteln sinnvoll, um die Tragfähigkeit des Planums auch nach Niederschlägen zu gewährleisten.

Die Baugrubensohlen im Sand insbesondere für flach gegründete Bauwerke sind vor dem Überbauen intensiv mit mittelschweren Verdichterplatten mit mindestens 5 Übergängen zu verdichten. Bindige Böden unterhalb der Baugrubensohle sind grundsätzlich statisch zu verdichten. Werden bindige Böden doch mit Vibrationsgeräten verdichtet, sollte zwischen letzter Verdichtung und Abnahmen eine Zeit von wenigstens 4 Stunden eingehalten werden.

Auch Auflockerungen bzw. Verformungen der Aushubebenen durch Befahren mit Baufahrzeugen bzw. Bearbeiten mit Baugeräten müssen beseitigt werden.

Die Feststellung nichttragfähiger Böden ist vor deren Austausch durch die Bauüberwachung des AG zu bestätigen.

Bei der Beräumung des Baumbewuchses von Böschungen ist zu beachten, dass Baumwurzeln nur gerodet werden dürfen, wenn die Standsicherheit der Erdbauwerke nicht gefährdet wird. Baumwurzeln aus Böschungen an Erdbauwerken, die durch Verkehr oder bauliche Unterlagen belastet werden, sollen nur mit Kegelfräse beseitigt werden.

13.2 Ergänzende Baugrunduntersuchungen

Die punktuell vorliegenden Aufschlussergebnisse geben zusammen mit den Bestandsunterlagen einen ersten Überblick über die zu erwartenden Baugrundverhältnissen. Da zum Zeitpunkt der Ausschreibung als Grundlage der ersten Bohrkampagne nur die Vorplanungsunterlagen **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**herangezogen werden konnten, müssen für die vertiefte Planung und rechtzeitig vor der Ausschreibung weitere Feld- und Laborarbeiten durchgeführt werden. Ziel dieser Untersuchungen ist es, statt der flächigen Erkundung

dann das Erkundungsraster dort zu verengen, wo es zu wenige oder nicht ausreichend tiefe Aufschlüsse für eine belastbare Planung der Endzustände einschließlich der Bauzustände vorliegen. Ferner müssen dabei die geotechnischen Grundlagen für die Planung der Bauzustände (z.B. Baugrubenverankerungen, Hilfsbrückengründungen, Verbauwände) geschaffen werden.

Ebenso werden zusätzliche Erkundungen an Signalstandorten notwendig, wenn dafür Signalausleger oder Signalbrücken geplant werden.

In der zweiten Bohrkampagne müssen möglichst Bohrungen und Sondierungen mit auf Bahnwagen stehenden Geräten im Gleis niedergebracht werden. Das ist an allen Bauwerksstandorten zu planen, bei denen wegen fehlender Zufahrtmöglichkeiten bisher keine oder unzureichende Erkundungsergebnisse vorliegen.

*****

Anhang 1, Seite 1

Überwerfungsbauwerk, km 59,456 (Strecke 1120)

Aufschlüsse:

BS HH 646/DPH HH 304, BS HH 645/DPH HH 303, B HH 47BS/CPT HH 47DPH, BS HH 650/DPH 309, B HH 46BS/CPT HH 46DPH, BS HH 649/DPH HH 308, BS HH645A/DPH HH307 (siehe Unterlage 18.5.21)

Morphologie, Geologie:

Bahnkörper im Einschnitt, unter Auffüllungen des Bahnkörpers bzw. unter den Randwegen stehen großflächig quartäre Sande an, die erst in größerer Tiefe von pleistozänen Böden wie Weichsel kaltzeitliche Geschiebelehm/Geschiebemergel unterlagert werden.

Baugrund:

Schicht Nr.	Kote* [NN ± m]	Beschreibung	Dichte / Konsistenz	Bodengruppe DIN 18196
1	GOK bis 8,86	Auffüllung (Schotter, Sand, schwach kiesig	locker	A [SE]
2	8,86 bis -0,1 (-4,9)	Mittelsand, grobsandig bis Grobsand, mittelsandig, z.T. feinkiesig, schwach schluffig	mitteldicht, lokal: locker, dicht	SE, lokal SU
3	ab -0,1	Geschiebemergel, Sand, schluffig, schwach tonig (nur Linse?)	steif	ST*

Grundwasser:

Anschnitt	NN +7,39 m bis NN +8,76 m	
Bemessungswasserstand	NN +9 m	
Betonaggressivität	schwach angreifend (abgeschätzt)	
Korrosionswahrscheinlichkeit	Mulden- und Lochkorrosionswahrscheinlichkeit	Flächenkorrosionswahrscheinlichkeit
freie Korrosion unter Wasser	gering	gering
Korrosion an der Wasser/Luft-Grenze	gering	gering

Charakteristische Bodenkennwerte (Rechenwerte)

Schicht Nr.	Wichte		Scherfestigkeit		Steifemodul
	feucht	unter Auftrieb	Reibungswinkel	Kohäsion	
	γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ'_k [°]	c'_k / $c_{u,k}$ [1)] [kN/m²]	$E_{s,k}$ [MN/m²]
A/A,lo	17	9	30,0	0/0	15
S,md	17,5	10,5	32,5	0/0	20-60
Mg,st	20,0	10,5	30,0	10/35	50

1) Bei Ansatz von $c_{u,k}$ beträgt der dazugehörige Reibungswinkel $\varphi_{u,k} = 0$

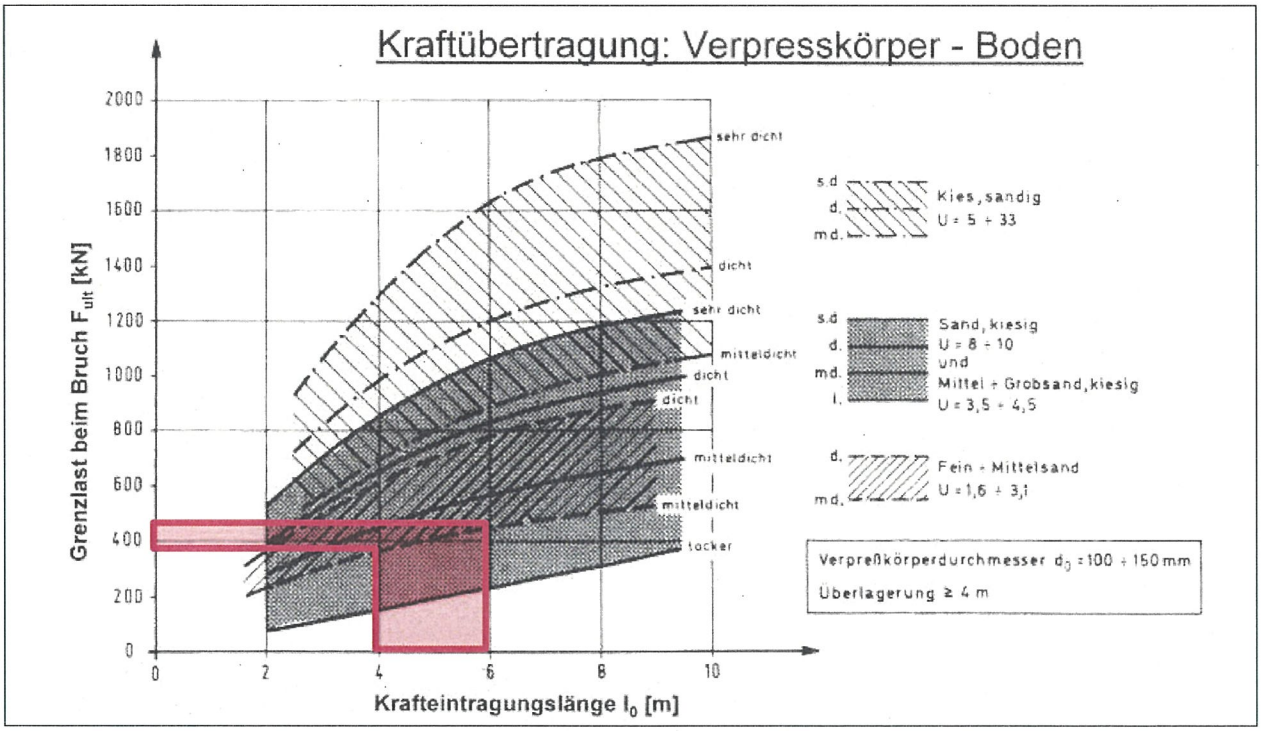
Gründungsempfehlung / Sonstige Hinweise:

Rahmenbauwerk	Flächengründung
Baugruben:	Baugrube mit Verbau; vorzugsweise als rückverankerte Spundwand; alternativ Bohrpfahlwand; Verbaustatik erforderlich
Wasserhaltung:	GWA notwendig
Hinweise:	Um einen Grundwasseraufstau weitestgehend zu vermeiden, ist um das Bauwerk herum gut durchlässiges Material einzubauen (z.B. Filterkies mit Filtervlies an der Kontaktfläche zum anstehenden Boden) und die Baugrubensicherung weitestgehend zu entfernen.

Anhang 1, Seite 2

Bemessungswerte für gerammte Spundwandprofile (nicht setzungsempfindlich)			
Schicht-Nr. Bodenart	**Kote NN [m]**	**Mantelreibung im Bruchzustand $q_{s,k}$ [kN/m²]**	**Pfahlspitzendruck im Bruchzustand $q_{b,k}$ [MN/m²]**
A,lo	GOK bis 9,70	-	-
S,md	9,70 bis 1,90	20	7,5
Mg,st	1,90 bis -2,00	20	7,5
Hinweis: Für verankerte Spundwand ist Nachweis der Abtragung der Vertikalkräfte zu führen. Werden Spundbohlen eingerüttelt, sind die Tabellenwerte auf 75% abzumindern.			

Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands (Rahmenbauwerk)
Die Anwendung der Tabellenwerte „Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands“ ist bei den gegebenen Baugrund- und Gründungsverhältnissen nicht zulässig. Zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit sind die Grenzzustände Grundbruch und Gleiten zu führen sowie Setzungsberechnungen erforderlich.



Grenzlast für die Vorbemessung der Verpressanker im S,md mit einer Verpresskörperlänge l_o = 4 – 6 m

Anhang 2, Seite 1

EÜ über die Strecke 1234, km 59,264 (Strecke 1120)

Aufschlüsse:

BS HH 638/DPH HH 299, BS HH 637A, BS HH 637/DPH HH 298, B HH 44/CPT HH 44 (siehe (siehe Unterlage 18.5.22 u. Bestandsaufschluss)

Morphologie, Geologie, Baugrund:

Bahnkörper im Einschnitt. SO_{1120} = NN +12,70 m. SO_{1234} = NN +6,3 m. Unter holozänen sandigen Auffüllungen stehen großflächig holozäne und pleistozäne Sande mit lokal eingeschalteten weichen pleistozänen Geschiebemergellagen an, die erst in größerer Tiefe von Geschiebemergel und tertiärer Glimmerton bis zur max. Endteufe (NN-16,8 m) unterlagert werden.

Baugrund:

Schicht Nr.	Kote* [NN ± m]	Beschreibung	Dichte / Konsistenz	Bodengruppe DIN 18196
A,lo	GOK bis +10,0	Auffüllung (Sand, oben humos, Schotter, Wurzelreste, z.T. kiesig, schwach schluffig	locker	[SE], OH
S,md	+10,0 bis +1,0	Feinsand, mittelsandig, bis Mittelsand, grobsandig, schwach kiesig, z.T. steinig, Mergellagen	mitteldicht	SE mit Lagen ST*
Mg,st	+1,0 bis -9,0	Geschiebemergel, Sand, schluffig, tonig, Schluff, stark sandig, tonig, mit eingeschalteten Sandlagen	steif	ST*/TL
TT,hf	-9,0 m bis -16,8	Glimmerton	halbfest	TM

* Kote gibt die Spanne der Schichtunterkante wieder

Grundwasser:

Anschnitt	NN +7,10 m - NN+4,62 m (10-12/2014)	
Bemessungswasserstand	NN +10,3 m (ohne Berücksichtigung der GWA) mit Berücksichtigung GWA: NN +6,25 m	
Betonaggressivität	nicht angreifend	
Korrosionswahrscheinlichkeit	Mulden- und Lochkorrosionswahrscheinlichkeit	Flächenkorrosionswahrscheinlichkeit
freie Korrosion unter Wasser	sehr gering	sehr gering
Korrosion an der Wasser/Luft-Grenze	gering	sehr gering

Charakteristische Bodenkennwerte (Rechenwerte)

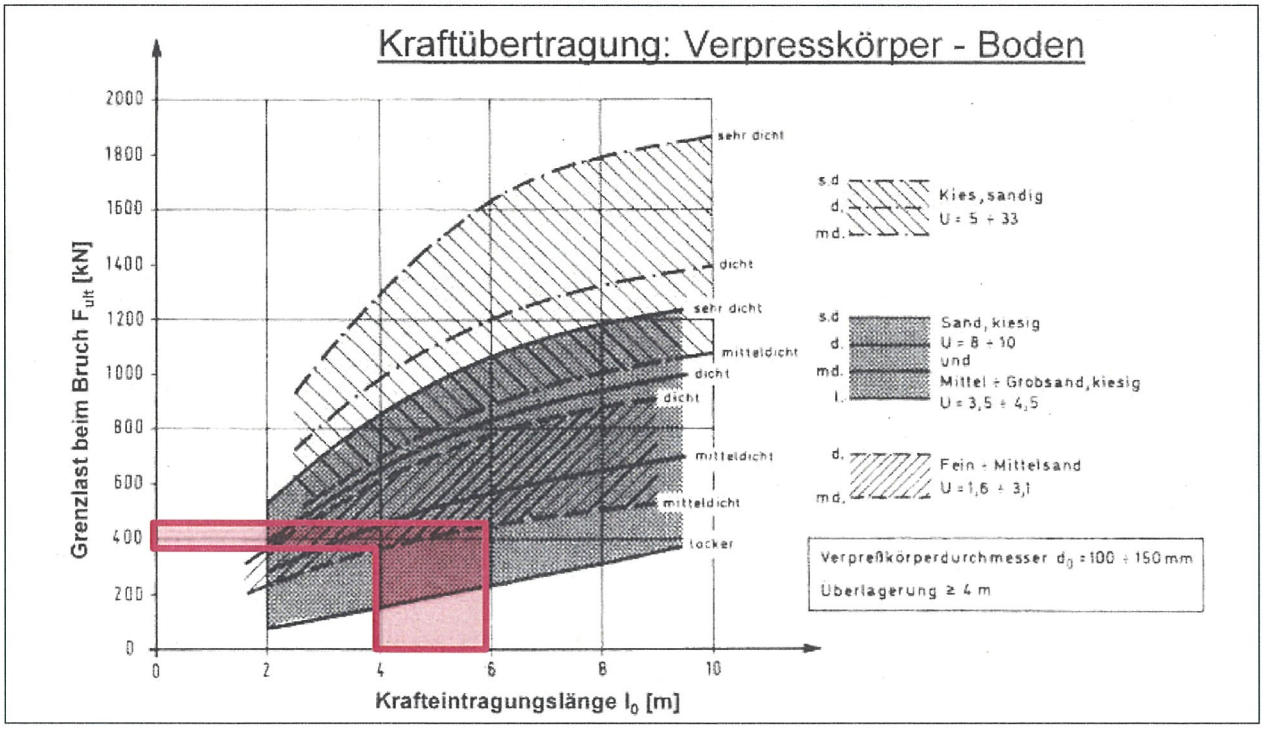
Schicht Nr.	Wichte		Scherfestigkeit		Steifemodul
	feucht	unter Auftrieb	Reibungswinkel	Kohäsion	
	γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ'_k [°]	c'_k / $c_{u,k}$ [1)] [kN/m²]	$E_{s,k}$ [MN/m²]
A,lo	17	10	30	0/0	15
S,md	17,5	10,5	32,5	0/0	30-80
Mg,st	20,0	10,5	30,0	10/50	40
TT,hf	21,0	11,0	27,5	20/100	30

1) Bei Ansatz von c_u beträgt der dazugehörige Reibungswinkel φ_u = 0

Anhang 2, Seite 2

Gründungsempfehlung / Sonstige Hinweise:	
Widerlager/Flügel	Flachgründung auf der Kote ca. NN +4 m. Nachverdichtung der Sohle erforderlich.
Baugruben:	Baugrubenverbau als Spundwand planen; mehrlagige Rückverankerung mit Verpressankern erforderlich; Verpresskörper sind im S,md abzusetzen.
Hilfsbrückengründung:	Nicht erforderlich.
Wasserhaltung:	Offene Wasserhaltung in den Baugrubenecken erforderlich; Absenkziel ≤ +3,5 m NN

Kleinste Einbindetiefe des Fundaments	**Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands** (für Widerlager) **kN/m²** ***b* bzw. *b'***					
m	0,50 m	1,00 m	1,50 m	2,00 m	2,50 m	3,00 m
0,50	280	420	460	390	350	310
1,00	380	520	500	430	380	340
1,50	480	620	550	480	410	360
2,00	560	700	590	500	430	390
Die angegebenen Werte sind Bemessungswerte des Sohlwiderstands, keine aufnehmbaren Sohldrücke nach DIN 1054:2005-01 und keine zulässigen Bodenpressungen nach DIN 1054:1976-11.						



Grenzlast für die Vorbemessung der Verpressanker im S,md mit einer Verpresskörperlänge l_0 = 4 – 6 m

Anhang 3, Seite 1

EÜ (F) Claudiusstraße, km 58,808 (Strecke 1120)

Aufschlüsse:

B HH 42/CPT HH 42, BS HH 615, CPT HH 43, BS HH 613d, BS HH 614 (siehe Unterlage 18.5.23)

Morphologie, Geologie, Baugrund:

Bahnkörper in Geländegleiche, Unter den bis 1,5 m mächtigen holozänen Auffüllung der Verkehrswege bzw. unter dem Bewuchs der angrenzenden Grundstücke stehen holozäne und pleistozäne enggestufte Sande und Sande mit unterschiedlichen Schluffanteilen (Schmelzwassersande) an, in die wenige Dezimeter und bis zu 1 m mächtige weiche und steife Geschiebemergellagen (Weichsel Kaltzeit) eingeschalteten sind.

Baugrund/Bemessungsprofil:

Schicht	Kote [NN ± m]	Beschreibung	Dichte / Konsistenz	Bodengruppe DIN 18196
A,lo	GOK bis +11,30	Auffüllung (Schotter, Sand, schwach schluffig	locker	A, [SU]
Mg,st	+11,30 bis +8,30	Geschiebemergel, Schluff, sandig bis stark sandig, schwach tonig, Sand, schluffig, schwach tonig, mit enggestuften Sandlagen	steif	ST*/TL
S,md	+8,30 bis +5,00	Mittel- u. Feinsand, z.T. grobsandig	mitteldicht	SE
S,d	+5,00 bis -12,00	Feinsand, mittelsandig bis zu Mittelsand, grobsandig, kiesig mit dünnen schluffigen Sandlagen und mehreren Mergellagen bis 1,5 m	dicht bis sehr dicht	SE, (UL-Lagen)

Grundwasser:

Anschnitt	02/2015: NN +9,83 m	
Bemessungswasserstand	2008: NN +11,0 m	
Betonaggressivität	nicht angreifend	
Korrosionswahrscheinlichkeit	Mulden- und Lochkorrosionswahrscheinlichkeit	Flächenkorrosionswahrscheinlichkeit
freie Korrosion unter Wasser	gering	sehr gering
Korrosion an der Wasser/Luft-Grenze	gering	sehr gering

Charakteristische Bodenkennwerte (Rechenwerte)

Schicht Nr.	Wichte		Scherfestigkeit		Steifemodul
	feucht γ_k [kN/m³]	unter Auftrieb γ'_k [kN/m³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k / $c_{u,k}$ [1)] [kN/m²]	$E_{s.k}$ [MN/m²]
A,lo	17,0	9,0	30,0	0/0	20
Mg,st	19,0	10,0	27,5	5/25	20-30
S,md	17,5	10,5	32,5	0/0	40
S,d	18,0	11,0	35,0	0/0	50 - 150

1) Bei Ansatz von c_u beträgt der dazugehörige Reibungswinkel $\varphi_u = 0$

Anhang 3, Seite 2

Gründungsempfehlung / Sonstige Hinweise:	
Rahmen /Rampen	Flächengründung im S,md – S,d bei ca. NN +7,1 m. außerhalb der durch den Verkehr vorbelasteten Bereiche Nachverdichtung mit schwerem Gerät erforderlich.
Baugruben:	Baugrube mit Verbau als Spundwand. Rückverankerung mit Verpressankern erforderlich; Verpresskörper sind im S,md bzw. S,d abzusetzen.
Hilfsbrückengründung:	Tiefgründung auf Stahlprofilträgern, z.B. in Spundwand als Kastenpfahl integrieren: Alternativ Flachgründung auf Fertigteilfundamenten hinter der Spundwand; Rückverankerung der Spundwand erforderlich.
Wasserhaltung:	GWA notwendig, Absenkziel < NN +6,5 m; alternativ ist dichte Baugrube mit dichter Spundwand und auftriebssicherer Dichtsohle herzustellen.

Bemessungswerte für Stahlprofilträger (Hilfsbrückengründung, abgeleitet aus CPT HH 43)

Kote [NN ± m]	**Pfahlmantelreibung** [3] **$q_{s,k}$ [kN/m²]**		**Pfahlspitzendruck** [1] **$q_{b,k}$ [MN/m²]**	**Bettungsziffer** [2] **k_s [MN/m³]**
	s_{sg}	**$s_{sg}=s_g=0{,}1D$**		
GOK bis +7,1 (Baugrubensohle)	-	-	-	-
+7,1 bis +0,5	35	50	4,5/6,8	$60/D_{eq}$
+0,5 bis -11,0	80	110	6,0/11,0	$90/D_{eq}$

[1] In Abhängigkeit von bezogener Pfahlkopfsetzung s/D_{eq} = 0,035 / 0,1
[2] D_{eq} = Pfahldurchmesser, für D_{eq} > 1 ist D_{eq}= 1 zu setzen
[3] **$q_{s,k}$ muss noch mit profilabhängigen Modellfaktoren** nach EA Pfähle multipliziert werden.

Kleinste Einbindetiefe des Fundaments	**Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands für Rahmen /Trog kN/m² *b* bzw. *b'***					
m	0,50 m	1,00 m	1,50 m	2,00 m	2,50 m	3,00 m
0,50	280	420	460	390	350	310
1,00	380	520	500	430	380	340
1,50	480	620	550	480	410	360
2,00	560	700	590	500	430	390

Die angegebenen Werte sind Bemessungswerte des Sohlwiderstands, keine aufnehmbaren Sohldrücke nach DIN 1054:2005-01 und keine zulässigen Bodenpressungen nach DIN 1054:1976-11.

Anhang 4, Seite 1

Neubau EÜ (F) PU Schlossgarten, km 58,644 (Strecke 1120)

Aufschlüsse:

BS HH 600, B HH 40/CPT HH 40, B HH 41BS/CPT HH 41DPH, BS HH 601(siehe Unterlage 18.5.24)

Morphologie, Geologie, Baugrund:

Bahnkörper in Geländegleichlage; unter Auffüllungen des Bahnkörpers bzw. der Straßenoberfläche stehen holozäne und pleistozäne Sande in lockerer bis dichter Lagerung an, in denen dünnmächtige Schluff und Tonlagen eingeschaltet sind (bis 0,5 m mächtig).

Baugrund/Bemessungsprofil:

Schicht	Kote [NN ± m]	Beschreibung	Dichte / Konsistenz	Bodengruppe DIN 18196
A,lo/ A,md	GOK bis +9,30	Auffüllung (Sand, schwach kiesig, z.T. schwach schluffig, Schotter, Ziegelreste oberflächennah mit Wurzelresten)	locker bis mitteldicht	[SE, SU], A
S,md	+9,3 bis +3,0	Mittelsand, grobsandig, z.T. kiesig und Feinsand, mittelsandig	mitteldicht	SE, lokal SU
S,d	+3,0 bis -8,2	Mittel- und Feinsande mit mehreren eingeschalteten Schluff und Tonlagen in weicher und steifer Konsistenz	dicht	SE, in Lagen TL/TM

Grundwasser:

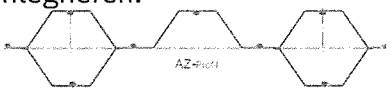
Anschnitt /Ruhe	NN +8,57 m (12/2014), NN +8,41 m (09/2009)	
Bemessungswasserstand	NN +11,0 m	
Betonaggressivität	nicht angreifend	
Korrosionswahrscheinlichkeit	Mulden- und Lochkorrosionswahrscheinlichkeit	Flächenkorrosionswahrscheinlichkeit
freie Korrosion unter Wasser	gering	sehr gering
Korrosion an der Wasser/Luft-Grenze	gering	sehr gering

Charakteristische Bodenkennwerte (Rechenwerte)

Schicht Nr.	Wichte		Scherfestigkeit		Steifemodul
	feucht γ_k [kN/m³]	unter Auftrieb γ'_k [kN/m³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k / $c_{u,k}$ [1)] [kN/m²]	$E_{s.k}$ [MN/m²]
A,lo/A, md	17,5	9,5	30	0/0	20
S,md	17,5	10,5	32,5	0/0	30-50
S,d	18	11	35	0/0	50-100

1) Bei Ansatz von c_u beträgt der dazugehörige Reibungswinkel $\varphi_u = 0$

Anhang 4, Seite 2

Gründungsempfehlung / Sonstige Hinweise:	
Rahmen /Rampen	Flächengründung im S,md bei ca. NN +6,5 m; außerhalb der durch den Verkehr vorbelasteten Bereiche Nachverdichtung mit schwerem Gerät erforderlich.
Baugruben:	Baugrube mit Verbau als dichte Spundwand und mit auftriebssicherer Dichtsohle herzustellen. Rückverankerung mit Verpressankern erforderlich; Verpresskörper sind im S,md abzusetzen.
Hilfsbrückengründung:	Tiefgründung auf Stahlprofilträgern, z.B. in Spundwand als Kastenpfahl integrieren:  Alternativ Flachgründung auf Fertigteilfundamenten hinter der Spundwand
Wasserhaltung:	Tagwasserfassung in dichter Baugrube notwendig

Bemessungswerte für Stahlprofilträger
(für Hilfsbrückengründung, Werte abgeleitet aus CPT HH 40)

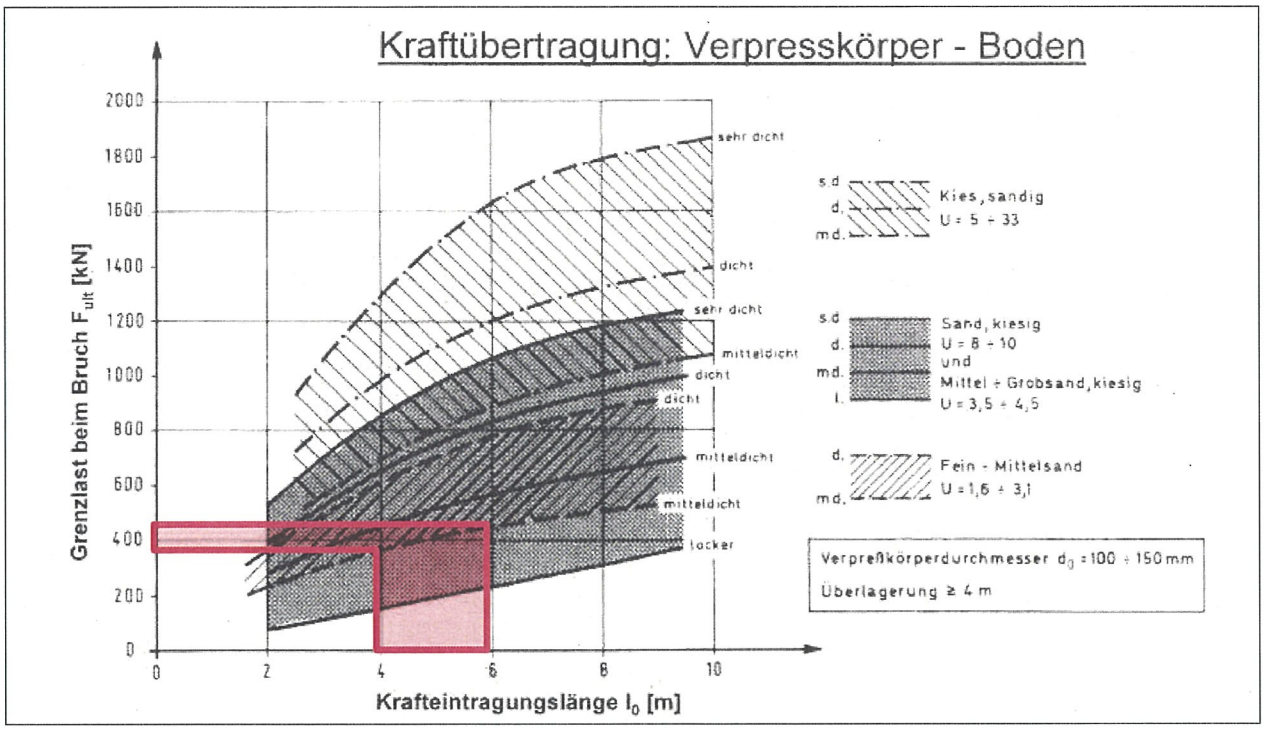
Kote [NN ± m]	**Pfahlmantelreibung** [3] **$q_{s,k}$ [kN/m²]**		**Pfahlspitzendruck** [1] **$q_{b,k}$ [MN/m²]**	**Bettungsziffer** [2] **k_s [MN/m³]**
	s_{sg}	**$s_{sg}=s_g=0{,}1D$**		
GOK bis +6,5 (Baugrubensohle)	-	-	-	-
+6,5 bis +3,0	35	50	-	$40/D_{eq}$
+3,0 bis -7,0	75	110	4,25/8,15	$75/D_{eq}$

[1] In Abhängigkeit von bezogener Pfahlkopfsetzung s/D_{eq} = 0,035 / 0,1
[2] D_{eq} = Pfahldurchmesser, für D_{eq} > 1 ist D_{eq}= 1 zu setzen
[3] **$q_{s,k}$ muss noch mit profilabhängigen Modellfaktoren** nach EA Pfähle multipliziert werden.

Kleinste Einbindetiefe des Fundaments	**Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands** (gilt für Rahmen) **kN/m²** ***b* bzw. *b'***					
m	0,50 m	1,00 m	1,50 m	2,00 m	2,50 m	3,00 m
0,50	280	420	460	390	350	310
1,00	380	520	500	430	380	340
1,50	480	620	550	480	410	360
2,00	560	700	590	500	430	390

Die angegebenen Werte sind Bemessungswerte des Sohlwiderstands, keine aufnehmbaren Sohldrücke nach DIN 1054:2005-01 und keine zulässigen Bodenpressungen nach DIN 1054:1976-11.

Anhang 4, Seite 3



Grenzlast für die Vorbemessung der Verpressanker im S,md mit einer Verpresskörperlänge l_0 = 4 – 6 m

Anhang 5, Seite 1

EÜ (F) Bf Claudiusstraße, km 58,469 (Strecke 1120)

Aufschlüsse:

BS HH 594, B HH 38/CPT HH 38a, BS HH 592/DPH HH 280, BS HH 593/DPH HH 281, B HH39/CPT HH 39 (siehe Unterlage 18.5.25)

Morphologie, Geologie, Baugrund:

Bahnkörper in Geländegleiche, unter den bis etwa 1,0 m mächtigen holozänen Auffüllung der Verkehrswege und Verkehrsflächen bzw. unter dem Bewuchs der angrenzenden Grundstücke stehen holozäne und pleistozäne enggestufte Sande und Sande mit unterschiedlichen Schluffanteilen (Schmelzwassersande) an, in die eine rd. 1,5 m mächtige Geschiebemergellage in steifer bis halbfester Konsistenz und eine 1,1 m mächtige Beckentonlage in steifer Konsistenz eingeschaltet ist.

Baugrund/Bemessungsprofil:

Schicht	Kote [NN ± m]	Beschreibung	Dichte / Konsistenz	Bodengruppe DIN 18196
A,lo	GOK bis +11,0	Auffüllung (Schotter, Sand, kiesig, steinig mit Wurzelresten	locker	A, [OH;SE]
S,lo/ S,md	+11,0 bis +5,0 m	Mittel- und Feinsande, z.T. schwach schluffig, dünne Schlufflagen	locker bis mitteldicht	SE, SU
BT,st	+5,0 bis +3,0	Ton, schluffig, sehr schwach feinsandig	steif	TL/TM
S,d	+3,0 bis -7,5	Mittelsand, feinsandig bis Grobsand, mittelsandig, schwach kiesig, z.T. schwach schluffig	dicht bis sehr dicht	SE, SU

Grundwasser:

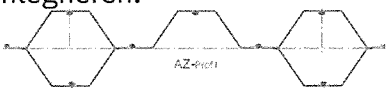
Anschnitt	11/2014: NN +8,40 m	
Bemessungswasserstand	2008: NN +10,0 m	
Betonaggressivität	nicht angreifend	
Korrosionswahrscheinlichkeit	Mulden- und Lochkorrosionswahrscheinlichkeit	Flächenkorrosionswahrscheinlichkeit
freie Korrosion unter Wasser	gering	sehr gering
Korrosion an der Wasser/Luft-Grenze	gering	sehr gering

Charakteristische Bodenkennwerte (Rechenwerte)

Schicht Nr.	Wichte		Scherfestigkeit		Steifemodul
	feucht γ_k [kN/m³]	unter Auftrieb γ'_k [kN/m³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k / $c_{u,k}$ [1)] [kN/m²]	$E_{s.k}$ [MN/m²]
A,lo	17,5	10,5	30,0	0/0	20
S,lo/ S,md	19,0	10,0	32,5	0/0	30
BT,st	20,0	10,0	20,0	5/40	5
S,d	18,0	11,0	35,0	0/0	50 - 150

1) Bei Ansatz von c_u beträgt der dazugehörige Reibungswinkel $\varphi_u = 0$

Anhang 5, Seite 2

Gründungsempfehlung / Sonstige Hinweise:	
Rahmen /Rampen	Flächengründung im S,md – S,d bei ca. NN +7,5 m. außerhalb der durch den Verkehr vorbelasteten Bereiche Nachverdichtung mit schwerem Gerät erforderlich.
Baugruben:	Baugrube mit Verbau als dichte Spundwand und mit auftriebssicherer Dichtsohle herzustellen. Rückverankerung mit Verpressankern erforderlich; Verpresskörper sind im S,md bzw. S,d abzusetzen.
Hilfsbrückengründung:	Tiefgründung auf Stahlprofilträgern, z.B. in Spundwand als Kastenpfahl integrieren:  Alternativ Flachgründung auf Fertigteilfundamenten hinter der Spundwand
Wasserhaltung:	Tagwasserfassung in dichter Baugrube notwendig

Bemessungswerte für Stahlprofilträger
(für Hilfsbrückengründung, Werte abgeleitet aus CPT HH 38a)

Kote [NN ± m]	**Pfahlmantelreibung** [3] **$q_{s,k}$ [kN/m²]**		**Pfahlspitzendruck** [1] **$q_{b,k}$ [MN/m²]**	**Bettungsziffer** [2] **k_s [MN/m³]**
	s_{sg}	$s_{sg}=s_g=0{,}1D$		
GOK bis +7,5 (Baugrubensohle)	-	-	-	-
+7,5 bis +2,5	35	50	-	$30/D_{eq}$
+2,5 bis -7,5	90	130	6,0/11,0	$100/D_{eq}$

[1] In Abhängigkeit von bezogener Pfahlkopfsetzung s/D_{eq} = 0,035 / 0,1
[2] D_{eq} = Pfahldurchmesser, für D_{eq} > 1 ist D_{eq}= 1 zu setzen
[3] **$q_{s,k}$ muss noch mit profilabhängigen Modellfaktoren** nach EA Pfähle multipliziert werden.

Kleinste Einbindetiefe des Fundaments	**Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands** (für Rahmen /Trog) **kN/m² *b* bzw. *b'***					
m	0,50 m	1,00 m	1,50 m	2,00 m	2,50 m	3,00 m
0,50	280	420	460	390	350	310
1,00	380	520	500	430	380	340
1,50	480	620	550	480	410	360
2,00	560	700	590	500	430	390

Die angegebenen Werte sind Bemessungswerte des Sohlwiderstands, keine aufnehmbaren Sohldrücke nach DIN 1054:2005-01 und keine zulässigen Bodenpressungen nach DIN 1054:1976-11.

Anhang 6, Seite 1

Neubau EÜ (F) PU Wandsbek, km 58,146 (Strecke 1120)

Aufschlüsse:

BS HH 580/DPH HH 274, B HH 37/CPT HH 37, BS HH 579/DPH HH 273, BS HH 578, SCH HH 96, BS HH 577, B HH 36/CPT HH 36a (siehe Unterlage 18.5.26)

Morphologie, Geologie, Baugrund:

Bahnkörper in flacher Dammlage; unter den Auffüllungen des Bahnkörpers bzw. der Rampen folgen lockere grobkörnige und gemischtkörnige aufgefüllte Sande, darunter liegen Fein- und Mittelsande in lockerer bis mitteldichter Lagerung, die von sandigem Geschiebemergel (überwiegend Sand, schluffig, schwach tonig) mit eingeschalteten enggestuften Sanden unterschiedlicher Kornzusammensetzung unterlagert werden (von Feinsand, mittelsandig bis Grobsand, mittelsandig, kiesig).

Baugrund/Bemessungsprofil:

Schicht	Kote [NN ± m]	Beschreibung	Dichte / Konsistenz	Bodengruppe DIN 18196
A,lo	GOK bis +9,75	Auffüllung (Sand, schwach kiesig, z.T. schluffig, Schotter, mit Wurzelresten)	locker	[SE, SI]
Lg,we	+9,75 bis +8,65	Geschiebelehm/-mergel, Sand, schluffig, schwach tonig	weich	ST*/TL
S,lo	+8,65 bis +6,4	Mittelsand, grobsandig, Kies, sandig mit Geröllen (Kantenlänge bis 20 cm)	locker	SE, lokal GI
Mg,st	+6,4 bis -5,8	Sand, schluffig, schwach tonig, schwach kiesig	steif	ST*/TL
S,md	-5,8 bis -8,9	Sand	mitteldicht	SE

Grundwasser:

Anschnitt /Ruhe	NN +9,03 u. NN +8,92 (10/2014 u. 3/2015)	
Bemessungswasserstand	NN +9,0 m	
Betonaggressivität	nicht angreifend	
Korrosionswahrscheinlichkeit	Mulden- und Lochkorrosions-wahrscheinlichkeit	Flächenkorrosions-wahrscheinlichkeit
freie Korrosion unter Wasser	sehr gering	sehr gering
Korrosion an der Wasser/Luft-Grenze	sehr gering	sehr gering

Charakteristische Bodenkennwerte (Rechenwerte)

Schicht Nr.	Wichte		Scherfestigkeit		Steifemodul
	feucht γ_k [kN/m³]	unter Auftrieb γ'_k [kN/m³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k / $c_{u,k}$ [1)] [kN/m²]	$E_{s,k}$ [MN/m²]
A,lo	17,0	9,0	30,0	0/0	20
Lg,we	19,0	10,0	25,0	5/15	10
S,lo	17,0	10,0	30,0	0/0	10
Mg,st	20,0	10,5	30,0	10/60	40
S,md	17,5	10,5	32,5	0/0	80 - 120

1) Bei Ansatz von c_u beträgt der dazugehörige Reibungswinkel $\varphi_u = 0$

Anhang 6, Seite 2

Gründungsempfehlung / Sonstige Hinweise:	
Rahmen /Rampen	Flächengründung S,lo bei ca. NN +7,8 m. Nachverdichtung der Sohle mit schwerem Gerät erforderlich.
Baugruben:	Baugrube im Gleisbereich im Schutz der alten verankerten Widerlager und außerhalb mit Verbau als dichte Spundwand planen. Anschlussbereiche Widerlager/Spundwand mit z.B. Düsenstrahlkörper abdichten. Wirksamkeit der Rückverankerung der alten Widerlager kann erst in der Ausführungsphase geprüft werden; deshalb neue Verankerung optional planen.
Hilfsbrückengründung:	Tiefgründung auf Stahlprofilträgern hinter den alten Widerlagern anordnen; wegen geringer Baugrundfestigkeit bzw. Lagerungsdichte sind nur Mantelreibungspfähle planbar; alternativ flach hinter oder auf den alten Widerlagern gründen, dann mit höhenverstellbaren Lagern planen.
Wasserhaltung:	Temporär offene Wasserhaltung in der Baugrube notwendig, Absenkziel Stauwasser < NN +7,3 m; alternativ Dichtsohle unter Wasser herzustellen.

Bemessungswerte für Stahlprofilträger (Hilfsbrückengründung, abgeleitet aus CPT HH 37)

Kote [NN ± m]	**Pfahlmantelreibung** [3] **$q_{s,k}$ [kN/m²]**		**Pfahlspitzendruck** [1] **$q_{b,k}$ [MN/m²]**	**Bettungsziffer** [2] **k_s [MN/m³]**
	s_{sg}	**$s_{sg}=s_g=0{,}1$ D**		
GOK bis +7,8 (Baugrubensohle)	-	-	-	-
+7,8 bis +6,4	25	30	-	-
+6,4 bis -5,8	30	35	0,3/0,5	$40/D_{eq}$
-5,8 bis -8,9	65	95	4,0/7,6	$90/D_{eq}$

[1] In Abhängigkeit von bezogener Pfahlkopfsetzung s/D_{eq} = 0,035 / 0,1
[2] D_{eq} = Pfahldurchmesser, für D_{eq} > 1 ist D_{eq}= 1 zu setzen
[3] **$q_{s,k}$ muss noch mit profilabhängigen Modellfaktoren** nach EA Pfähle multipliziert werden.

Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands (Rahmenbauwerk)

Die Anwendung der Tabellenwerte „Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands" ist bei den gegebenen Baugrund- und Gründungsverhältnissen nicht zulässig. Zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit sind die Grenzzustände Grundbruch und Gleiten zu führen sowie Setzungsberechnungen erforderlich.

Anhang 7, Seite 1

EÜ Gehölzgraben, km 58,006 (Strecke 1120)

Aufschlüsse:

BS HH 571/DPH HH 269, BS HH 572, SCH HH 95, BS HH 570/DPH HH 270 ((siehe Unterlage 18.5.27)

Morphologie, Geologie:

Bahnkörper in Dammlage, ca. 2,5 m hoch; unter holozänen Auffüllungen steht unter Oberboden 0,7 m quartärer Geschiebelehm an; darunter folgt 0,4 m torfig schluffiger Feinsand mit Holzresten und bis zur Endteufe (1 m NN) quartärer Sand

Baugrund/Bemessungsprofil:

Schicht	Kote [NN ± m]	Beschreibung	Dichte / Konsistenz	Bodengruppe DIN 18196
A,lo	GOK bis +9,4	Auffüllung (Sand, kiesig, z.T. schluffig, einzelne Steine, mit Wurzelresten)	locker	[SE, SI]
Lg,we	+9,4 - +8,7	Geschiebelehm, Sand, schluffig, schwach tonig, schwach kiesig,	weich	ST*/TL
OH,nb	+8,7 - +8,3	torfiger, schluffiger Feinsand mit Holzresten	locker	OH
S,md	+8,4 - +3,15	Mittelsand, grobsandig, schwach kiesig	mitteldicht	SE
S,d	+3,15 - +1,0	Mittelsand, schwach grobsandig	dicht	SE

Grundwasser:

Anschnitt /Ruhe	NN +8,27/+8,37 (12/2014)	
Bemessungswasserstand	NN +11,0 m	
Betonaggressivität	nicht angreifend	
Korrosionswahrscheinlichkeit	Mulden- und Lochkorrosionswahrscheinlichkeit	Flächenkorrosionswahrscheinlichkeit
freie Korrosion unter Wasser	gering	sehr gering
Korrosion an der Wasser/Luft-Grenze	gering	sehr gering

Charakteristische Bodenkennwerte (Rechenwerte)

Schicht Nr.	Wichte		Scherfestigkeit		Steifemodul
	feucht γ_k [kN/m³]	unter Auftrieb γ'_k [kN/m³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k / $c_{u,k}$ 1) [kN/m²]	$E_{s.k}$ [MN/m²]
A,lo	17,0	9,0	30,0	0/0	20
Lg,we	19,0	10,0	25,0	5/25	10
OH,nb	16,0	8,0	30,0	0/2	5
S,md	17,5	10,5	32,5	0/0	30-40
S,d	18,0	11,0	35,0	0/0	40-80

1) Bei Ansatz von c_u beträgt der dazugehörige Reibungswinkel $\varphi_u = 0$

Gründungsempfehlung / Sonstige Hinweise:

Rahmen/Rohr	Flachgründung auf der Schicht S,md
Stützwand	Flachgründung auf der Schicht S,md
Baugruben:	Baugrube mit Verbau notwendig, vorzugsweise Spundwandverbau mit Aussteifung zur Verformungsbeschränkung, ohne Aussteifung wahrscheinlich Verankerung mit Verpressankern erforderlich mit Lage der Verpresskörper im S,md
Wasserhaltung:	Offene Wasserhaltung in den Baugrubenecken erforderlich; Absenkziel ≤ +7,5 m NN

Anhang 7, Seite 2

Kleinste Einbindetiefe des Fundaments	**Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands** (für Rahmenbauwerk) **kN/m²** ***b* bzw. *b'***					
m	0,50 m	1,00 m	1,50 m	2,00 m	2,50 m	3,00 m
0,50	280	420	460	390	350	310
1,00	380	520	500	430	380	340
1,50	480	620	550	480	410	360
2,00	560	700	590	500	430	390
Die angegebenen Werte sind Bemessungswerte des Sohlwiderstands, keine aufnehmbaren Sohldrücke nach DIN 1054:2005-01 und keine zulässigen Bodenpressungen nach DIN 1054:1976-11.						

Anhang 8, Seite 1

Erweiterung EÜ Bovestraße, km 57,849 (Strecke 1120)

Aufschlüsse:

WL Ost: BS HH 558/DPH HH 264, SCH HH 93, BS HH 559, BS HH 560/DPH HH 265
WL West: BS HH 561, BS HH 562a/DPH HH 266, BS HH 563/DPH HH 267, B HH 35/CPT HH 35, u. Archivaufschlüsse (siehe Unterlage 18.5.28)

Morphologie, Geologie, Baugrund:

Bahnkörper in Dammlage; unter grobkörnigen bis gemischtkörnigen, holozänen, aufgefüllten Sanden mit eingeschalteten Schlufflagen stehen quartäre Sande in stark variierender Mächtigkeit und eingeschalteten wasserführenden Sandstreifen an; unterlagert werden diese von Weichsel kaltzeitlichem Geschiebemergel in weicher bis steifer Konsistenz.

Baugrund/Bemessungsprofil:

Schicht	Kote [NN ± m]	Beschreibung	Dichte / Konzis.	Bodengruppe DIN 18196
A,lo	Damm-OK bis +11,8	Auffüllung, Sand, oben humos, Wurzelreste, Schotter, z.T. kiesig, schwach schluffig mit Ziegel- Beton- Glasresten, z.T. Schlacke	locker	[SE, SU, OH] A
A,st	+11,8 bis 9,85	Sand, stark schluffig, schwach tonig, Ziegelreste	steif	ST*/SU*
S,md	+9,85 bis +6,9	Sand, schwach schluffig bis schluffig	mitteldicht	SE, SU,SU*
Mg,we	+6,9 bis +3,0	Geschiebemergel, Sand, schluffig, tonig	weich	ST*/TL
Mg,st	+3,0 bis -16,0		steif	

Grundwasser:

Anschnitt	NN +7,77 m (09/1986) – NN +9,37 m (12/2014)	
Bemessungswasserstand	NN +9 m	
Betonaggressivität	nicht angreifend	
Korrosionswahrscheinlichkeit	Mulden- und Lochkorrosionswahrscheinlichkeit	Flächenkorrosionswahrscheinlichkeit
freie Korrosion unter Wasser	sehr gering	sehr gering
Korrosion an der Wasser/Luft-Grenze	sehr gering	sehr gering

Charakteristische Bodenkennwerte (Rechenwerte)

Schicht	Wichte		Scherfestigkeit		Steifemodul
	feucht γ_k [kN/m³]	unter Auftrieb γ'_k [kN/m³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k / $c_{u,k}$ [1)] [kN/m²]	$E_{s,k}$ [MN/m²]
A,lo	17,0	9,0	30,0	0/0	15
A,st	18,0	10,0	30,0	5/20	10
S,md	17,5	10,5	32,5	0/0	30
Mg,we	19,0	10,0	30,0	5/40	20
Mg,st	20,0	10,0	30,0	10/100	35-60

1) Bei Ansatz von c_u beträgt der dazugehörige Reibungswinkel $\varphi_u = 0$

Anhang 8, Seite 2

Gründungsempfehlung / Sonstige Hinweise:	
Widerlager	WL Ost: Flächengründung im S,md möglich; WL West: Flächengründung ggf. mit Baugrundverbesserung mittels HDI
Pfeiler	Flächengründung ggf. mit Baugrundverbesserung mittels HDI; alternativ Bohrpfahlgründung auf Mikropfählen
Baugruben:	Baugrube mit Verbau; vorzugsweise als Spundwand. Rückverankerung mit Verpressankern erforderlich; Verpresskörper sind im S,md absetzen.
Hilfsbrückengründung:	Tiefgründung auf Stahlprofilträgern, z.B. in Spundwand als Kastenpfahl integrieren: Alternativ Flachgründung auf Fertigteilfundamenten hinter der verankerten Spundwand
Wasserhaltung:	GWA notwendig; alternativ ist dichte Baugrube mit dichter Spundwand und auftriebssicherer Dichtsohle herzustellen.

Bemessungswerte für Stahlprofilträger
(für Hilfsbrückengründung, Werte abgeleitet aus Erfahrungswerten)

Kote [NN ± m]	**Pfahlmantelreibung** [3] **$q_{s,k}$ [kN/m²]**		**Pfahlspitzendruck** [1] **$q_{b,k}$ [MN/m²]**	**Bettungsziffer** [2] **k_s [MN/m³]**
	s_{sg}	**$s_{sg}=s_g=0{,}1D$**		
GOK bis +7,3	-	-	-	-
7,3 bis +6,9				
+6,9 bis +3,0	30	35	-	$20/D_{eq}$
+3,0 bis -16,0	50	60	-	$45/D_{eq}$

[1] In Abhängigkeit von bezogener Pfahlkopfsetzung s/D_{eq} = 0,035 / 0,1
[2] D_{eq} = Pfahldurchmesser, für D_{eq} > 1 ist D_{eq}= 1 zu setzen
[3] **$q_{s,k}$ muss noch mit profilabhängigen Modellfaktoren** nach EA Pfähle multipliziert werden.

Kleinste Einbindetiefe des Fundaments	**Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands** (gilt für Widerlager) **kN/m²** ***b* bzw. *b'***					
m	0,50 m	1,00 m	1,50 m	2,00 m	2,50 m	3,00 m
0,50	280	420	460	390	350	310
1,00	380	520	500	430	380	340
1,50	480	620	550	480	410	360
2,00	560	700	590	500	430	390

Die angegebenen Werte sind Bemessungswerte des Sohlwiderstands, keine aufnehmbaren Sohldrücke nach DIN 1054:2005-01 und keine zulässigen Bodenpressungen nach DIN 1054:1976-11.

Anhang 8, Seite 3

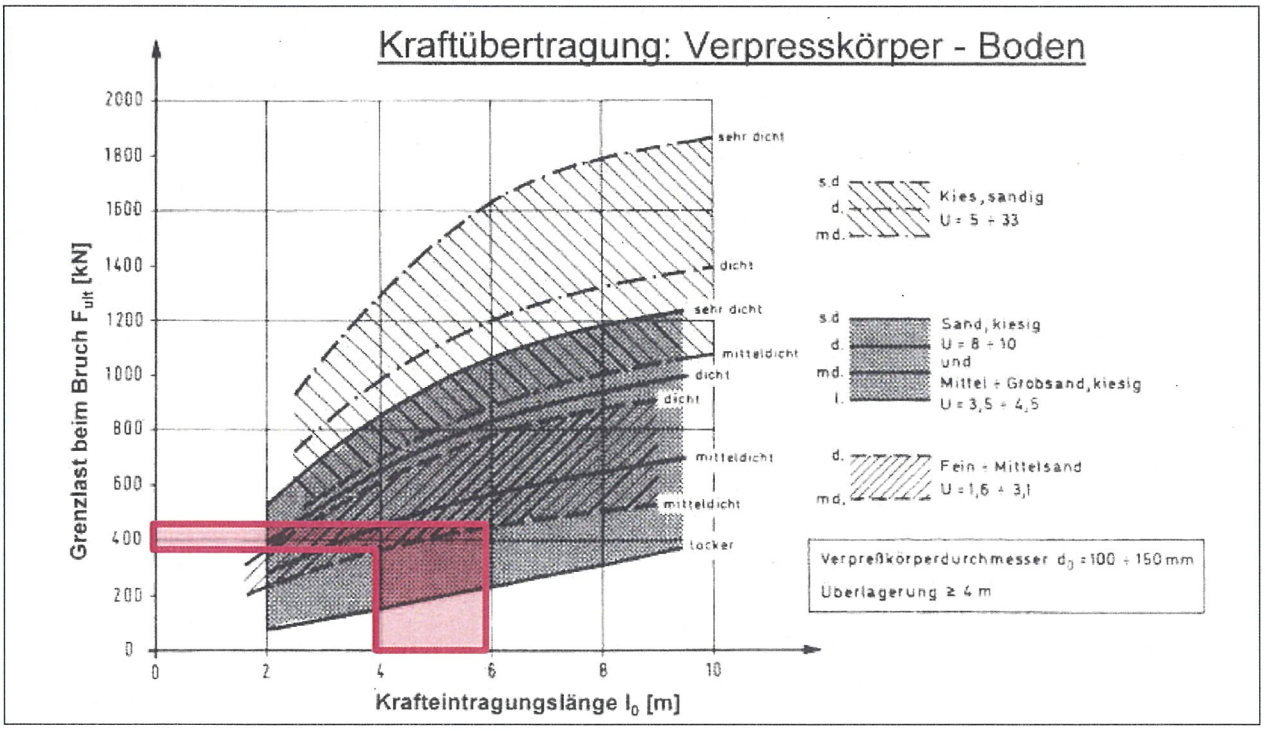
Bemessungswerte für Mikropfähle
(für Pfeilergründung, Werte abgeleitet aus Erfahrungswerten)

Schicht-Nr. Bodenart	Kote NN [m]	Pfahlmantel-reibung $q_{s,k}$ [kN/m²]	Pfahlspitzen-druck [1)] $q_{b,k}$ [MN/m²]	Bettungs_ ziffer k_s [MN/m³]
A,lo A,st, S,md	GOK bis +7,3	-	-	-
S,md	7,3 bis +6,9	100	-	$30/D_s$ [2)]
Mg,we	+6,9 bis +3,0	30	-	$20/D_s$ [2)]
Mg,st	+3,0 bis -16,0	75	-	$45/D_s$ [2)]

[1)] in Abhängigkeit von bezogener Pfahlkopfsetzung s/D_s bzw. s/D_b = 0,02/ 0,03 / 0,1
[2)] D_s = Pfahldurchmesser, für $D_s > 1$ ist $D_s = 1$ zu setzen
Die angegebenen Spitzenwiderstände gelten für Pfähle, die mindestens 2,5 m in den tragfähigen Boden ➔ Mg,st einbinden.

Hinweise:

- Wegen der stark variierenden Baugrundschichtung und -festigkeit sind im Rahmen der Bauausführung an den unmittelbaren Gründungsstandorten Baugrunduntersuchungen mit der Drucksonde zu empfehlen, um das Erfordernis und die Tiefe der Verbesserungsmaßnahmen zu verifizieren. Werden Pfahlgründungen geplant, sind unabhängig von der Pfahlart vorlaufende Pfahlprobebelastungen dringend zu empfehlen!
- Die Tabelle Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands dient nur für eine erste Dimensionierung. Die Grenzzustände der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit müssen für jede Gründung nachgewiesen werden.
- Wegen der Setzungsempfindlichkeit des geplanten Durchlaufträgers muss die Verträglichkeit der Setzungsdifferenzen überprüft werden.



Grenzlast für die Vorbemessung der Verpressanker im S,md mit einer Verpresskörperlänge l_0 = 4 – 6 m

Anhang 9, Seite 1

EÜ Luetkensallee, km 56,740 (Strecke 1120)

Aufschlüsse:

B HH 33/CPT HH 33, BS HH 491a/DPH HH 234, BS HH 492a/DPH 235, BS HH 494, BS HH 495/DPH HH 237, SCH 77/BS HH 77A, BS HH 496/DPH HH 238, BS HH 493/DPH HH 236 (siehe Unterlage 18.5.29)

Morphologie, Geologie, Baugrund:

Bahnkörper liegt im flachen Einschnitt bzw. Geländegleiche; SO_{1120} ca. NN +16,68 m. Unter dem Oberboden und holozänen sandigen, steinhaltigen Auffüllungen (Bahnkörper und Bauwerkshinterfüllungen) steht quartärer Geschiebelehm bzw. Geschiebemergel meist in steifer bis halbfester Konsistenz mit mehreren wasserführenden Sandeinschaltungen an. Unter der Kote NN -0,7 m wurden bis NN -10,27 m quartäre, dicht gelagerte Sande und Kiese mit Gerölllagen (Korngröße: 10 – 20 cm) erbohrt.

Baugrund-/Bemessungsprofil: (aus B HH 33 u. CPT HH 33 abgeleitet)

Schicht	Kote [NN ± m]	Beschreibung	Dichte / Konsistenz	Bodengruppe DIN 18196
A,lo/A,md	GOK bis +13,0	Auffüllung (Sand, oben humos, z.T. kiesig, Wurzelreste, Schotter, vereinzelt Schlufflinsen	Locker, mitteldicht	[SE, SU, OH] A
S,d/Mg,we/Mg,st/Mg,hf	+13,0 – 0,0	Wechsellagerung Sand und sandiger Geschiebemergel	dicht/ weich bis halbfest	SE, SU, ST*,TL
S,d	0,0 - -6,2	Sand, kiesig und Kies, stark sandig, mit eingeschalteten Gerölllagen	dicht	SE, SI, GE

Grundwasser:

Anschnitt	9-10/2014: NN +13,30 m – NN +14,26 m	
Bemessungswasserstand	NN +14,5 m	
Betonaggressivität	nicht angreifend (Erfahrungswert)	
Korrosionswahrscheinlichkeit	Mulden- und Lochkorrosionswahrscheinlichkeit	Flächenkorrosionswahrscheinlichkeit
freie Korrosion unter Wasser	sehr gering	sehr gering
Korrosion an der Wasser/Luft-Grenze	sehr gering	sehr gering

Charakteristische Bodenkennwerte (Rechenwerte)

Schicht Nr.	Wichte		Scherfestigkeit		Steifemodul
	feucht	unter Auftrieb	Reibungswinkel	Kohäsion	
	γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ'_k [°]	c'_k / $c_{u,k}$ [1)] [kN/m²]	$E_{s,k}$ [MN/m²]
A,lo	17,0	10,0	30	0/0	15
S,md	17,5	10,5	32,5	0/0	30-40
S,d	18,0	11,0	35,0	0/0	60-120
Lg,we	19,0	10,0	25,0	5/25	5
Mg,st	20,0	11,0	27,5	10/50	20
Mg,hf	21,0	12,0	30,0	15/100	40

1) Bei Ansatz von $c_{u,k}$ beträgt der dazugehörige Reibungswinkel $\varphi_{u,k} = 0$

Anhang 9, Seite 2

Gründungsempfehlung / Sonstige Hinweise:	
Rahmen / Tröge	Flächengründung im S,md bzw. Mg,st möglich, außerhalb des durch das Bestandsbauwerk vorkonsolidierten Bereiches ggf. Bodenaustausch bis 2 m oder Bodenverbesserung notwendig.
Baugruben:	Baugrube mit Verbau; vorzugsweise als Spundwand. Rückverankerung mit Verpressankern erforderlich; Verpresskörper im S,md bzw. Mg,st absetzen.
Hilfsbrückengründung:	Tiefgründung auf Stahlprofilträgern, z.B. in Spundwand als Kastenpfahl integrieren: Alternativ Flachgründung auf Fertigteilfundamenten hinter der Spundwand; Rückverankerung der Spundwand erforderlich.
Wasserhaltung:	GWA notwendig, Absenkziel < NN +11,1 m; alternativ ist dichte Baugrube mit dichter Spundwand und auftriebssicherer Dichtsohle herzustellen. Anstehender Geschiebemergel kann nicht als Dichtungsschicht herangezogen werden.

Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands (Rahmenbauwerk)

Die Anwendung der Tabellenwerte „Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands" ist bei den gegebenen Baugrund- und Gründungsverhältnissen nicht zulässig. Zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit sind die Grenzzustände Grundbruch und Gleiten zu führen sowie Setzungsberechnungen erforderlich.

Bemessungswerte für Stahlprofilträger (Hilfsbrückengründung, abgeleitet aus CPT HH 33)

Kote [NN ± m]	**Pfahlmantelreibung** [3] **$q_{s,k}$ [kN/m²]**		**Pfahlspitzendruck** [1] **$q_{b,k}$ [MN/m²]**	**Bettungsziffer** [2] **k_s [MN/m³]**
	s_{sg}	**$s_{sg}=s_g=0{,}1D$**		
GOK bis +11,1 (Baugrubensohle)	-	-	-	-
+11,1 bis +9,0	30	35	-	$35/D_{eq}$
+9,0 bis +7,5	20	20	-	$10/D_{eq}$
+7,5 bis +2,75	80	100	5,0/8,5	$12/D_{eq}$
+2,75 bis -0,25	20	20	-	$20/D_{eq}$
-0,25 bis -6,25	100	140	6,0/10,0	$100/D_{eq}$

[1] In Abhängigkeit von bezogener Pfahlkopfsetzung s/D_{eq} = 0,035 / 0,1
[2] D_{eq} = Pfahldurchmesser, für D_{eq} > 1 ist D_{eq}= 1 zu setzen
[3] **qs,k muss noch mit profilabhängigen Modellfaktoren** nach EA Pfähle multipliziert werden.

Anhang 10, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem km 57,500 – km 56,597 (Str.1120)	
Gleis (Str. 1249): „Neubau“	Ahrensburg - Hamburg
Geschwindigkeit:	v = 100 km/h
Morphologie:	Gleis verläuft etwa geländegleich bis Luetkensallee, ab ca. 56,600 Einschnitt
Maßgebende Sondierprofile:	BS HH 544, BS HH 536, BS HH 535, BS HH 527, BS HH 518, BS HH 509, , BS HH 504, BS HH 500, BS HH 499, BS HH 493, BS HH 492, BS HH 485
Maßgebende Bodenart/-schicht: (ca.1,10 m u. SO)	ST*, TL, weich, Geschiebemergel/-lehm
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	2/3, Grundwasser < 1,50 m u. SO
Bemessungsmodul (E_H):	E_H = 10 MN/m²
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 45 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 100 MN/m², D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

- **Bemessung Tragfähigkeit** (gem. Ril 836.4101A02 und Ril 836.4101A04)
- Dicke PSS: d_{TS} = 35 cm, Korngemisch KG 2
- Bodenaustausch (BA) mit d = 40 cm[1*)] und Setzungsabschätzung
- Material: Kies-Sand-Gemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s, $d_{0,063} < 5$ % (F1), D_{Pr} = 1,0

Bemessung Frostsicherheit (gem. Ril 836.4101A02 und Ril 836.4101A04)

- Frosteinwirkungsgebiet: II;
- Frostempfindlichkeitsklasse: F3 gem. ZTVE-StB 09
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ = 75 cm
- Tragschicht vorhanden $d_{TS\ vorh}$ = Schotter (30 cm) + PSS (35 cm) + BA (40 cm)
- $d_{TS\ vorh}$ = 105 cm > $d_{erf\ Frost}$ = 75 cm ---→ Nachweis: $d_{TS\ vorh} > d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise:

[1*)] Die Unterkante des Bodenaustausches kann in Abhängigkeit von entwässerungstechnischen Aspekten auch tiefer liegen

Anhang 11, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem, km 58,110 – km 57,500 (Str.1120)

Gleis (Str. 1249): „Neubau“	Ahrensburg - Hamburg
Geschwindigkeit:	v = 100 km/h
Morphologie:	Dammverbreiterung bis Bovestr., nach Bovestr. etwa geländegleich, ab ca. km 57,600 Anschnitt
Maßgebende Sondierprofile:	BS HH 576a, BS HH 570, BS HH 574, BS HH 569, BS HH 567, BS HH 560, BS HH 557, BS HH 555, BS HH 553, BS HH 551, BS HH 548, BS, HH 546, BS HH 544
Maßgebende Bodenart/-schicht: (ca. 1,10 m u. SO)	SU* ($d_{<0,1mm}$: 20-30%), schluffige bis stark schluffige Sande
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	1/2, Grundwasser ca. 2,00 m unter SO
Bemessungsmodul (E_H):	E_H = 25 MN/m²
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 45 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 100 MN/m², D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

Bemessung Tragfähigkeit (gem. Ril 836.4101A02 und Ril 836.4101A04)
- Dicke PSS: d_{TS} = 35 cm, Korngemisch KG 2
- km 58,050 - ca. km 57,840 (EÜ Bovestr.) Dammaufbau,
- km 57,840 - ca. km 57,500 Bodenaustausch (BA) mit d = 20 cm[1*)] und Setzungsabschätzung
- Material: Kies-Sand-Gemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s, d0,063 < 5 % (F1), D_{Pr} = 1,0

Bemessung Frostsicherheit (gem. Ril 836.4101A02 und Ril 836.4101A04)
- Frosteinwirkungsgebiet: II;
- Frostempfindlichkeitsklasse: F 3 gem. ZTVE-StB 09
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ = 75 cm
- Dicke vorhandene Tragschicht: $d_{TS\ vorh}$ = Schotter (30 cm) + PSS (35 cm) + BA (20 cm)
- $d_{TS\ vorh}$ = 85 cm > $d_{erf\ Frost}$ = 75 cm ---→ Nachweis: $d_{TS\ vorh} > d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise:

[1*)] Die Unterkante des Bodenaustausches kann in Abhängigkeit von entwässerungstechnischen Aspekten auch tiefer liegen
- Bewuchs und Oberboden sind vollständig abzutragen (i. M. 0,4 m) und bis zur Kote Planum durch o.g. Materialien zu ersetzen

Anhang 12, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem, km 58,400 – km 58,110 (Str.1120)	
Gleis (Str. 1249): „Neubau“	Ahrensburg - Hamburg
Geschwindigkeit:	v = 100 km/h
Morphologie:	flacher Anschnitt, bis ca.km 58,300 Verlauf neben dem Bestandsgleis in Vorgärten, ab km 58,300 bis ca. km 58,100 Verlauf im Bestandsgleis d. Str. 1120
Maßgebende Sondierprofile:	BS HH 588, BS HH 586, BS HH 584, BS HH 581a, BS HH 580a, BS HH 579
Maßgebende Bodenart/-schicht: (ca. 1,10 m u. SO)	Geschiebelehm/-mergel, weich, ST*, TL, SU*
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	2, Grundwasser ≥ 1,5 m unter SO
Bemessungsmodul (E_H):	E_H = 15 MN/m²
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 45 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 100 MN/m², D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

- **Bemessung Tragfähigkeit** (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
- Dicke PSS: d_{TS} = 35 cm, Korngemisch KG 1
- Qualifizierte Bodenverbesserung mit hydraulischen Bindemitteln (QBV)mit d_{min} = 30 cm und Setzungsabschätzung

Bemessung Frostsicherheit (gem. Ril 836.4101A02 und Ril 836.4101A04)

- Frosteinwirkungsgebiet: II;
- Frostempfindlichkeitsklasse: F3 gem. ZTVE-StB 09
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ = 75 cm
- Dicke Tragschicht vorhanden $d_{TS\ vorh}$ = Schotter (30 cm) + PSS (35 cm) + QBV(30 cm)
- $d_{TS\ vorh}$ = 95 cm = $d_{erf\ Frost}$ = 65 cm---→ Nachweis: $d_{TS\ vorh}$ = $d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise:

- Nach Aussage des Planers erfolgt in diesem Bereich der Einbau einer TE

Anhang 13, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem, km 59,300 – km 58,400 (Str.1120)	
Gleis (Str. 1249): „Neubau“	Ahrensburg - Hamburg
Geschwindigkeit:	v = 100 km/h
Morphologie:	etwa geländegleich, Gleis verläuft neben dem Bestandsgleiskörper
Maßgebende Sondierprofile:	BS HH 639, BS HH 635, BS HH 634a, BS HH 632, BS HH 630, BS HH 627, BS HH 626, BS HH 622, BS HH 618, BS HH 612, BS HH 604, BS HH 599, BS HH 598, BS HH 595, BS HH 593, BS HH 590
Maßgebende Bodenart/-schicht: (ca. 1,10 m u. SO)	SE, [SU], [SI], A
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	1/2, Grundwasser ≥ 1,50 m unter SO
Bemessungsmodul (E_H):	E_H = 20 MN/m²
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 45 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 100 MN/m², D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise

Bemessung Tragfähigkeit (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
- Dicke PSS: d_{TS} = 35 cm, Korngemisch KG 2
- Bodenaustausch (BA) mit d = 25 cm[1*)] und Setzungsabschätzung,
- Material: Kies-Sand-Gemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s, $d_{0,063} < 5$ % (F1), D_{Pr} = 1,0

Bemessung Frostsicherheit (gem. Ril 836.4101A02 und Ril 836.4101A04)
- Frosteinwirkungsgebiet: II
- Frostempfindlichkeitsklasse: F 1 und F2
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ = 65 cm für F2
- Dicke vorhandene Tragschicht: $d_{TS\ vorh}$ = Schotter (30 cm)) + PSS (35 cm) + BA (25 cm)
- $d_{TS\ vorh}$ = 90 cm > $d_{erf\ Frost}$ = 65 cm---→ Nachweis: $d_{TS\ vorh} > d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise:

[1*)] Die Unterkante des Bodenaustausches kann in Abhängigkeit von entwässerungstechnischen Aspekten auch tiefer liegen
- Bewuchs und Oberboden sind vollständig abzutragen (i. M. 0,4 m) und bis zur Kote Planum durch o.g. Materialien zu ersetzen

Anhang 14, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem, km 59,709 – km 59,300 (Str.1120)	
Gleis (Str. 1249): „Neubau“	Ahrensburg -Hamburg
Geschwindigkeit:	v = 100 km/h
Morphologie:	Einschnitt
Maßgebende Sondierprofile:	BS HH 639, B HH 45, BS HH 646
Maßgebende Bodenart/-schicht: (ca. 1,10 m u. SO)	entfällt, neue Dammschüttung
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	1
Bemessungsmodul (E_H):	entfällt
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 45 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 100 MN/m², D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:
Bemessung Tragfähigkeit (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05) • Dicke PSS: d_{TS} = 35 cm, • Korngemisch KG 1 bzw. KG 2 in Abhängigkeit des geplanten Dammschüttmaterials
Festlegung Regelneigung (gem. Ril 836.4101A01, Bild 1) • Böschungsneigung festlegen in Abhängigkeit des geplanten Dammschüttmaterials
Hinweise: • Bewuchs und Oberboden sind vollständig abzutragen (i. M. 0,4 m) und bis zur Kote Planum durch o.g. Materialien zu ersetzen • Herstellen der Dammaufstandsfläche ohne Nachweis • Neuschüttung des Dammes gem. Ril 836. 4101A01, Bild 1, Absatz (5)

Anhang 15, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem, km 59,709 – km 59,300 (Str.1120)	
Gleis (Str. 1249): „Neubau“	Hamburg - Ahrensburg
Geschwindigkeit:	v = 100 km/h
Morphologie:	Einschnitt, Gleis verläuft neben Bestandserdbauwerk und bindet in km 59,580 in Bestandsstrecke 1120 (Gl. HH-Ahrensburg) ein
Maßgebende Sondierprofile:	BS HH 641, BS HH 644, BS 650, BS HH 645
Maßgebende Bodenart/-schicht: (ca. 1,10 m u. SO)	SE, [SU]
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	1/2, Grundwasser ≥ 1,50 m unter SO
Bemessungsmodul (E_H):	E_H = 20 MN/m²
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 45 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 100 MN/m, D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

Bemessung Tragfähigkeit (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05):
- Dicke PSS: d_{TS} = 35 cm, Korngemisch KG 2
- Bodenaustausch (BA) mit d = 25 cm[1*)] und Setzungsabschätzung,
- Material: Kies-Sand-Gemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s, $d_{0,063} < 5$ % (F1), D_{Pr} = 1,0

Bemessung Frostsicherheit (gem. Ril 836.4101A02 und Ril 836.4101A04)
- Frosteinwirkungsgebiet: II;
- Frostempfindlichkeitsklasse: F 1 und F2
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ = 65 cm für F2
- Dicke vorhandene Tragschicht: $d_{TS\ vorh}$ = Schotter (30 cm)) + PSS (35 cm) + BA (25 cm)
- $d_{TS\ vorh}$ = 90 cm > $d_{erf\ Frost}$ = 65 cm---→ Nachweis: $d_{TS\ vorh} > d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise:

[1*)] Die Unterkante des Bodenaustausches kann in Abhängigkeit von entwässerungstechnischen Aspekten auch tiefer liegen
- Bewuchs und Oberboden sind vollständig abzutragen (i. M. 0,4 m) und bis zur Kote Planum durch o.g. Materialien zu ersetzen

Anhang 16, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem, km 59,300 – km 58,400 (Str.1120)	
Gleis (Str. 1249): „Neubau“	Hamburg -Ahrensburg
Geschwindigkeit:	v = 100 km/h
Morphologie:	etwa geländegleich
Maßgebende Sondierprofile:	BS HH 638, BS HH 637a, BS HH 636, BS HH 633, BS HH 628, BS HH 624, BS HH 617, BS HH 609, BS HH 603, Sch HH 101, BS HH 101A, BS HH 591, BS HH 587
Maßgebende Bodenart/-schicht: (ca. 1,10 m u. SO)	SE, (SU)
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	1/2, Grundwasser ≥ 1,50 m unter SO
Bemessungsmodul (E_H):	E_H = 20 MN/m²
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 45 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 100 MN/m², D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

Bemessung Tragfähigkeit (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)

- Dicke PSS: d_{TS} = 35 cm, Korngemisch KG 2
- Bodenaustausch (BA) mit d = 25 cm[1*)] und Setzungsabschätzung,
- Material: Kies-Sand-Gemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s, $d_{0,063} < 5$ % (F1), D_{Pr} = 1,0

Bemessung Frostsicherheit (gem. Ril 836.4101A02 und Ril 836.4101A04)

- Frosteinwirkungsgebiet: II;
- Frostempfindlichkeitsklasse: F 1 und F2
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ = 65 cm für F2
- Dicke vorhandene Tragschicht: $d_{TS\ vorh}$ = Schotter (30 cm)) + PSS (35 cm) + BA (25 cm)
- $d_{TS\ vorh}$ = 90 cm > $d_{erf\ Frost}$ = 65 cm---→ Nachweis: $d_{TS\ vorh} > d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise:

[1*)] Die Unterkante des Bodenaustausches kann in Abhängigkeit von entwässerungstechnischen Aspekten auch tiefer liegen

- Bewuchs und Oberboden sind vollständig abzutragen (i. M. 0,4 m) und bis zur Kote Planum durch o.g. Materialien zu ersetzen

Anhang 17, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem, km 58,400 – km 58,110 (Str.1120)	
Gleis (Str. 1249): „Neubau“	Hamburg - Ahrensburg
Geschwindigkeit:	v = 100 km/h
Morphologie:	flacher Einschnitt, Gleis verläuft neben dem Bestandserdbauwerk
Maßgebende Sondierprofile:	BS HH 587, Sch HH 98, BS HH 582, BS HH 578
Maßgebende Bodenart/-schicht: (ca. 1,10 m u. SO)	ST*, TL, SU* Geschiebelehm/-mergel, weich, örtlich steif
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	2, Grundwasser ≥ 1,5 m unter SO
Bemessungsmodul (E_H):	E_H = 10 MN/m²
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 45 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 100 MN/m², D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

Bemessung Tragfähigkeit (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
- Dicke PSS: d_{TS} = 35 cm, Korngemisch KG 1
- Qualifizierte Bodenverbesserung mit hydraulischen Bindemitteln (QBV) mit d_{min} = 30 cm und Setzungsabschätzung statt geotechnischer Absicherung

Bemessung Frostsicherheit (gem. Ril 836.4101A02 und Ril 836.4101A04)
- Frosteinwirkungsgebiet: II;
- Frostempfindlichkeitsklasse: F3 gem. ZTVE-StB 09
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ = 75 cm
- Dicke Tragschicht vorhanden $d_{TS\ vorh}$ = Schotter (30 cm) + PSS (35 cm) +QBV (10 cm)
- $d_{TS\ vorh}$ = 75cm = $d_{erf\ Frost}$ = 65 cm---→ Nachweis: $d_{TS\ vorh}$ = $d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise:
- Nach Aussage des Planers erfolgt in diesem Bereich der Einbau einer TE

Anhang 18, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem, km 58,110 – km 57,500 (Str.1120)	
Gleis (Str. 1249): „Neubau“	Hamburg - Ahrensburg
Geschwindigkeit:	v = 100 km/h
Morphologie:	Damm, Dammlage bis ca. km 57,800, Gleis verläuft unmittelbar neben und im Bestandsgleis Ahrensburg - Hamburg der Str. 1120
Maßgebende Sondierprofile:	BS HH 578, Sch HH 95, BS HH 95A, Sch HH 94, BS HH 566, Sch HH 93, BS HH 554, Sch HH 92, BS HH 92A, Sch HH 91, BS HH 542
Maßgebende Bodenart/-schicht: (ca. 1,10 m u. SO)	ST*, TL, weich, Geschiebemergel/-lehm
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	1/2, Grundwasser ≥ 3,00 m unter SO
Bemessungsmodul (E_H):	E_H = 20 MN/m²
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 45 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 100 MN/m², D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

- **Bemessung Tragfähigkeit** (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
- Dicke PSS: d_{TS} = 35 cm, Korngemisch KG 2
- Bodenaustausch (BA) mit d = 25 cm[1*)] und Setzungsabschätzung,
- Material: Kies-Sand-Gemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s, $d_{0,063} < 5$ % (F1), D_{Pr} = 1,0

- **Bemessung Frostsicherheit** (gem. Ril 836.4101A02 und Ril 836.4101A04)
- Frosteinwirkungsgebiet: II;
- Frostempfindlichkeitsklasse: F 3 gem. ZTVE-StB 09
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ = 75 cm
- Dicke Tragschicht vorhanden: $d_{TS\ vorh}$ = Schotter (30 cm) + PSS (35 cm) + BA (25 cm)
- $d_{TS\ vorh}$ = 90 cm > $d_{erf\ Frost}$ = 75 cm ---→ Nachweis: $d_{TS\ vorh} > d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise:

[1*)] Die Unterkante des Bodenaustausches kann in Abhängigkeit von entwässerungstechnischen Aspekten auch tiefer liegen

- Bewuchs und Oberboden sind vollständig abzutragen (i. M. 0,4 m) und bis zur Kote Planum durch o.g. Materialien zu ersetzen

Anhang 19, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem, km 57,500 – km 56,597 (Str.1120)	
Gleis (Str. 1249): „Neubau“	Hamburg - Ahrensburg
Geschwindigkeit:	v = 100 km/h
Morphologie:	etwa geländegleich, Anschnitt
Maßgebende Sondierprofile:	BS HH 537, BS HH 531, BS HH 524, BS HH 516, BS HH 508, BS HH 502, BS HH 496, BS HH 488
Maßgebende Bodenart/-schicht: (ca. 1,10 m u. SO)	ST*, TL, SU* , Geschiebelehm und Geschiebemergel, vorwiegend weiche Konsistenz
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	2, Grundwasser < 1,50 m unter SO
Bemessungsmodul (E_H):	E_H = 10 MN/m²
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 45 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 100 MN/m², D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

- **Bemessung Tragfähigkeit** (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
- Dicke PSS: d_{TS} = 35 cm, Korngemisch KG 2
- Bodenaustausch (BA) mit d = 40 cm[1*)] und Setzungsabschätzung
- Material: Kies-Sand-Gemisch mit k_f > 10 -4 m/s, $d_{0,063}$ < 5 % (F1), D_{Pr} = 1,0

Bemessung Frostsicherheit (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04)

- Frosteinwirkungsgebiet: II
- Frostempfindlichkeitsklasse: F3 gem. ZTVE-StB 09
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ = 75 cm
- Dicke Tragschicht vorhanden $d_{TS\ vorh}$ = 30 cm (Schotter) + PSS (35 cm) + BA (40 cm)
- $d_{TS\ vorh}$ = 105 cm > $d_{erf\ Frost}$ = 75 cm
- Nachweis: $d_{TS\ vorh}$ > $d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise:

[1*)] Die Unterkante des Bodenaustausches kann in Abhängigkeit von entwässerungstechnischen Aspekten auch tiefer liegen

- Bewuchs und Oberboden ist vollständig abzutragen (i. M. 0,4 m) und bis zur Kote Planum durch o.g. Materialien zu ersetzen.

Anhang 20, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem, km 59,709 – km 59,150 (Str.1120)	
Gleis (Str. 1120): „Verbesserung“	Gleise Hamburg - Lübeck und Lübeck - Hamburg
Geschwindigkeit:	v = 120 km/h
Morphologie:	Einschnitt bis ca. km 59,150 (BÜ Hammerstraße)
Maßgebende Sondierprofile:	BS 1/2000, RKS 16/2006, BS HH 648, BS HH 647, Sch HH 103, BS HH 643, RKS 14/2006, BS HH 640, RKS 13/2006, BS HH 637A, RKS 12/2006
Maßgebende Bodenart/-schicht (ca.1,0 m u. SO)	SE, SU, [GI], [SE], [SU]
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	1; Grundwasser ≥ 2,50 m unter SO
Bemessungsmodul (E_H):	E_H = 20 MN/m²
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 30 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 50 MN/m², D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

Bemessung Tragfähigkeit (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
- Dicke PSS: d_{TS} = 30 cm, Korngemisch KG 2 und
- Nachverdichtung des Planums
- Setzungsabschätzung

Bemessung Frostsicherheit (gem. Ril 836.4101A02 und Ril 836.4101A04)
- Frosteinwirkungsgebiet: II;
- Frostempfindlichkeitsklasse: F 1 und F2 gem. ZTVE-StB 09
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ = 45 cm für F2
- Dicke Tragschicht vorhanden $d_{TS\ vorh}$ = 30 cm (Schotter) + PSS (30 cm) = 60 cm
- $d_{TS\ vorh}$ = 60 cm > $d_{erf\ Frost}$ = 45 cm ---→ Nachweis: $d_{TS\ vorh}$ > $d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise:
[1*)] Die Aushubebene kann in Abhängigkeit von entwässerungstechnischen Aspekten auch tiefer liegen
- Schotterhaltung erforderlich, Einbau PSS im Pilgerschrittverfahren.

Anhang 21, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem, km 59,150 – km 58,800 (Str.1120)	
Gleis (Str. 1120): „Neubau“	Gleise Hamburg - Lübeck und Lübeck - Hamburg
Geschwindigkeit:	v = 120 km/h
Morphologie:	etwa geländegleich
Maßgebende Sondierprofile:	RKS 11/2006, BS HH 623, Sch HH 102, BS HH 621, BS HH 620, RKS 103/2009, BS HH 615
Maßgebende Bodenart/-schicht (ca. 1,0 m u. SO)	SU*, OH, [SU*], lokal [SE],
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	1/2, Grundwasser ≥ 2,40 m unter SO
Bemessungsmodul (E_H):	E_H = 15 MN/m²
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 45 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 100 MN/m², D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

Bemessung Tragfähigkeit (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
- Dicke PSS: d_{TS} = 35 cm, Korngemisch KG 2
- Bodenaustausch (BA) mit d = 35 cm[1*)] und Setzungsabschätzung,
- Material: Kies-Sand-Gemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s, $d_{0,063} < 5$ % (F1), D_{Pr} = 1,0

Bemessung Frostsicherheit (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04)
- Frosteinwirkungsgebiet: II
- Frostempfindlichkeitsklasse: F3
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ = 75 cm
- Dicke Tragschicht vorhanden: $d_{TS\ vorh}$ = Schotter (30 cm)) + PSS (35 cm) + BA (35 cm)
- $d_{TS\ vorh}$ = 100 cm > $d_{erf\ Frost}$ = 70 cm---→ Nachweis: $d_{TS\ vorh} > d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise:

[1*)] Die Unterkante des Bodenaustausches kann in Abhängigkeit von entwässerungstechnischen Aspekten auch tiefer liegen
- der Teilabschnitt weist in beiden Gleisen eine sehr unruhige Gleislage auf und zeigt im Schotterbett starken Schachtelhalmbewuchs auf, was auf hohe Staunässe schließen lässt, die wiederum nicht funktionierende Entwässerungsanlagen als Ursache haben kann,
- im Bereich des Bahnübergangs musste bereits 2014 eine Schlammstelle beseitigt werden

Anhang 22, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem, km 58,800 – km 58,450 (Str.1120)	
Gleis (Str. 1120): „Neubau“	Gleise Hamburg - Lübeck und Lübeck - Hamburg
Geschwindigkeit:	v = 120 km/h
Morphologie:	etwa geländegleich
Maßgebende Sondierprofile:	BS HH 608, RKS 100/2009, BS HH 602, RKS 98/2009, BS HH 597, RKS 97/2009, Sch HH 100, BS HH 596A, BS HH 596, BS HH 592
Maßgebende Bodenart/-schicht (ca. 1,0 m u. SO)	[SI], [SE], [GI], [GE], [SU], [GU], SU
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	2, Grundwasser ≥ 2,60 m unter SO
Bemessungsmodul (E_H):	E_H = 20 MN/m²
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 45 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 100 MN/m², D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

Bemessung Tragfähigkeit (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
- Dicke PSS: d_{TS} = 35 cm, Korngemisch KG 2
- Bodenaustausch (BA) mit d = 25 cm[1*)] und Setzungsabschätzung,
- Material: Kies-Sand-Gemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s, $d_{0,063} < 5$ % (F1), D_{Pr} = 1,0

Bemessung Frostsicherheit (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04)
- Frosteinwirkungsgebiet: II
- Frostempfindlichkeitsklasse: F1, F2 maßgebend
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ = 65 cm
- Dicke Tragschicht vorhanden: $d_{TS\ vorh}$ = Schotter (30 cm)) + PSS (35 cm) + BA (25 cm)
- $d_{TS\ vorh}$ = 90 cm > $d_{erf\ Frost}$ = 65 cm---→ Nachweis: $d_{TS\ vorh} > d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise:

[1*)] Die Unterkante des Bodenaustausches kann in Abhängigkeit von entwässerungstechnischen Aspekten auch tiefer liegen
- im Bereich von km 58,550 bis 58,520 wurde Vlies freigelegt

Anhang 23, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem, km 58,450 – km 58,150 (Str.1120)	
Gleis (Str. 1120): „Neubau“	Gleise Hamburg - Lübeck und Lübeck - Hamburg
Geschwindigkeit:	v = 120 km/h
Morphologie:	etwa geländegleich, Einschnitt
Maßgebende Sondierprofile:	RKS 95/2009, BS HH 591, Sch HH 99, RKS 93/2009, Sch HH 99, BS HH 585, BS HH 583, RKS 91/2009, Sch HH 97, RKS 89/2006
Maßgebende Bodenart/-schicht: (ca. 1,10 m u. SO)	ST*, TL, weiche Konsistenz
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	1/2, (geplanter Neubau TE)
Bemessungsmodul (E_H):	E_H = 15 MN/m²
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 45 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 100 MN/m², D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

- **Bemessung Tragfähigkeit** (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
- Dicke PSS: d_{TS} = 35 cm, Korngemisch KG 1
- Qualifizierte Bodenverbesserung mit hydraulischen Bindemitteln (QBV) mit d_{min} = 30 cm und Setzungsabschätzung

- **Bemessung Frostsicherheit** (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04)
- Frosteinwirkungsgebiet: II
- Frostempfindlichkeitsklasse: F3 gem. ZTVE-StB 09
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ = 75 cm
- Dicke Tragschicht vorhanden $d_{TS\ vorh}$ = Schotter (30 cm) + PSS (35 cm) +QBV (10 cm)
- $d_{TS\ vorh}$ = 75 cm > $d_{erf\ Frost}$ = 75 cm---→ Nachweis: $d_{TS\ vorh}$ > $d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise:

- ---

Anhang 24, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem, km 58,150 – km 57,740 (Str.1120)	
Gleis (Str. 1120) : „Neubau“	Gleise Hamburg - Lübeck und Lübeck - Hamburg
Geschwindigkeit:	v = 120 km/h
Morphologie:	Dammlage
Maßgebende Sondierprofile:	Sch HH 96, BS HH 577, BS HH 575, RKS 87/2009, BS HH 572, RKS 85/2009, BS HH 568, RKS 84/2009, RKS 83/2009, BS HH 562a, RKS 82/2009, BS HH 556
Maßgebende Bodenart/-schicht: (ca.1,10 m u. SO)	[SE], [SI], [SU], [GI], [SI], [A], lokal [ST*]
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	1, Grundwasser ≥ 5,50 m bis 6,30 m unter SO
Bemessungsmodul (E_H):	E_H = 20 MN/m²
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 45 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 100 MN/m², D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

- **Bemessung Tragfähigkeit** (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
- Dicke PSS: d_{TS} = 35 cm, Korngemisch KG 2
- Bodenaustausch (BA) mit d = 25 cm[1*)] und Setzungsabschätzung
- Material: Kies-Sand-Gemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s, $d_{0,063} < 5$ % (F1), D_{Pr} = 1,0

- **Bemessung Frostsicherheit** (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)Frosteinwirkungsgebiet: II
- Frostempfindlichkeitsklasse: F 1 und F2, maßgebend F2
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ = 65 cm
- Dicke Tragschicht vorhanden $d_{TS\ vorh}$ = Schotter (30 cm)) + PSS (35 cm) + BA (25 cm)
- $d_{TS\ vorh}$ = 90 cm > $d_{erf\ Frost}$ = 65 cm---→ Nachweis: $d_{TS\ vorh} > d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise:

[1*)] Die Unterkante des Bodenaustausches kann in Abhängigkeit von entwässerungstechnischen Aspekten auch tiefer liegen

- Örtlich Geschiebemergel im Bereich von km 57,900 (s. RKS 84/2009)

Anhang 25, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem, km 57,740 – km 56,597 (Str.1120)	
Gleis (Str. 1120): „Neubau“	Gleise Hamburg - Lübeck und Lübeck - Hamburg
Geschwindigkeit:	v = 120 km/h
Morphologie:	etwa geländegleich, Anschnitt
Maßgebende Sondierprofile:	Sch HH 91,Sch HH 88, Sch HH 86, Sch HH 84, Sch HH 82, Sch HH 80, Sch HH 79, BS HH 79 A Sch HH 78, W104-RKS 1/2009, W103-RKS 2/2009, Sch HH 77, BS HH 77A, Sch HH 76, W102-RKS1/2009
Maßgebende Bodenart/-schicht: (ca. 1,10 m u. SO)	ST*, SU*, TL, TM, weiche Konsistenz [SE], [SI], [GE], [GI]
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	2, Grundwasser < 1,50 m unter SO (Schichtwasser)
Bemessungsmodul (E_H):	E_H = 10 MN/m²
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 45 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 100 MN/m², D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

- **Bemessung Tragfähigkeit** (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
- Dicke PSS: d_{TS} = 35 cm, Korngemisch KG 2
- Bodenaustausch (BA) mit d = 40 cm[1*)] und Setzungsabschätzung
- Material: Kies-Sand-Gemisch mit k_f > 10 -4 m/s, $d_{0,063}$ < 5 % (F1), D_{Pr} = 1,0

Bemessung Frostsicherheit (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04)

- Frosteinwirkungsgebiet: II
- Frostempfindlichkeitsklasse: F3 gem. ZTVE-StB 09
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ = 75 cm
- Dicke Tragschicht vorhanden $d_{TS\ vorh}$ = 30 cm (Schotter) + PSS (35 cm) + BA (40 cm)
- $d_{TS\ vorh}$ = 105 cm > $d_{erf\ Frost}$ = 75 cm
- Nachweis: $d_{TS\ vorh}$ > $d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise:

[1*)] Die Unterkante des Bodenaustausches kann in Abhängigkeit von entwässerungstechnischen Aspekten auch tiefer liegen

- Bewuchs und Oberboden ist vollständig abzutragen (i. M. 0,4 m) und bis zur Kote Planum durch o.g. Materialien zu ersetzen.

Anhang 26, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem, Str.1241	
Gleise: „Neubau“	km 4,200 – km 4,500
Geschwindigkeit:	v = 80 km/h
Morphologie:	Einschnitt. (Gleis bahnlinks auf Dammschüttung geplant; Gleis bahnrechts verläuft im Trog).
Maßgebende Sondierprofile:	BS 646, B HH 47, BS HH 649, B HH 46 BS, BS HH 648, BS HH 645A, (siehe Unterlage 18.5.1)
Maßgebende Bodenart/-schicht: (ca. 1,10 m u. SO)	[Schotter], SE
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	1, Bereich Grundwasserabsenkung
Bemessungsmodul (E_H):	entfällt
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 45 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 80 MN/m²

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

Bemessung Tragfähigkeit (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
- Dicke PSS: d_{TS} = 25 cm, Korngemisch KG 2
- Korngemisch KG 1 oder KG 2 in Abhängigkeit des verwendeten Dammschüttmaterials

Festlegung Regelneigung. Ril 836.4101A01, Bild 1
- Die Böschungsneigung wird in Abhängigkeit des geplanten Dammschüttmaterials festgelegt

Hinweise:
- Nach Rückbau der Schienen und Schwellen des bahnlinken Gleises der Strecke erfolgt die Herstellung einer Dammaufstandsfläche aus dem vorhandenen Schotter für den späteren lageweisen Dammaufbau,
- Neuschüttung des Dammes gem. Ril 836.4101A01, Bild 1, Absatz (5)

Anhang 27, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem, Strecke 1242, km 59,460 – km 58,800

Gleis: „Neubau“	Gleis Hamburg - Wandsbek (südl. gleis)
Geschwindigkeit:	v = 60 km/h
Morphologie:	Einschnitt bis ca. km 59,200, anschließend etwa geländegleich
Maßgebende Sondierprofile:	BS HH 655, BS HH 656, BS HH 657, BS HH 658, BS HH 661, BS HH 662, BS HH 663, BS HH 623
Maßgebende Bodenart/-schicht: (ca.1,10 m u. SO)	SU*, ST*, TL, steife Konsistenz
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	2, Grundwasser ≥ 2,50 m u. SO
Bemessungsmodul (E_H):	E_H =15 MN/m²
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 45 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 80 MN/m², D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

- **Bemessung Tragfähigkeit** (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
- Dicke PSS: d_{TS} = 35 cm, Korngemisch KG 1
- Bodenaustausch (BA) mit d = 30 cm[1)] und Setzungsabschätzung
- Material: Kies-Sand-Gemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s, $d_{0,063} < 5$ % (F1), D_{Pr} = 1,0

- **Bemessung Frostsicherheit** (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
- Frosteinwirkungsgebiet: II
- Frostempfindlichkeitsklasse F3
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ = 65 cm
- Dicke Tragschicht vorhanden $d_{TS\ vorh}$ = Schotter (30 cm) + PSS (35 cm) + BA (30 cm)
- $d_{TS\ vorh}$ = 95 cm > $d_{erf\ Frost}$ = 65 cm---→ Nachweis: $d_{TS\ vorh} > d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise:

- im Bereich von km 59,300 - 59,200 erfolgt eine Einschnittsverbreiterung

Anhang 28, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem, Strecke 1242, km 59,460 – km 58,800

Gleis: „Verbesserung/Erneuerung“ und „Neubau“	Gleis Wandsbek - Hamburg (nördl. Gleis)
Geschwindigkeit:	v = 60 km/h
Morphologie:	Einschnitt und geländegleich, Gleis verläuft im Bestandsgleislage von km59,460 bis km 59,000, Neubau ab km 59,000 bis km 58,800 (Einfädelung Str. 1120)
Maßgebende Sondierprofile:	Bestandsgleis: Sch HH 106, BS HH 660, Sch HH 107), Neubaugleis: BS HH 625, BS HH 621, BS HH 620
Maßgebende Bodenart/-schicht: (ca.1,0 m u. SO)	Bestandgleis: [GU], [SI], [GI], [SE], „Schutzschicht“ Neubaugleis: SU, SE, [SE]
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	1/2, Grundwasser ≥ 2,20 m u. SO
Bemessungsmodul (E_H):	E_H = 20 MN/m² (Neubau)
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 20 MN/m² (Bestand) E_{v2} = 45 MN/m² (Neubau)
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 40 MN/m (Bestand) E_{v2} = 80 MN/m² (Neubau) D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

- **Bemessung Tragfähigkeit** (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
- Im Bestandsgleis von km 59,460 bis km 59,00 keine tragfähigkeitserhöhende Maßnahmen erforderlich, ggf. Nachverdichtung
- Ab km 59,000 - 58,800 Neubau
  Dicke PSS: d_{TS} = 25 cm, Korngemisch KG 2
  Bodenaustausch (BA) mit d = 30 cm und Setzungsabschätzung
  Material: Kies-Sand-Gemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s, $d_{0,063} < 5$ % (F1), D_{Pr} = 1,0

- **Bemessung Frostsicherheit** (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
- Frosteinwirkungsgebiet: II
- Frostempfindlichkeitsklasse: F 1 und F2, maßgebend F2
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ = 55 cm
- Dicke Tragschicht vorhanden $d_{TS\ vorh}$ = Schotter (30 cm) + PSS (25 cm) + BA (30 cm)
- $d_{TS\ vorh}$ = 85 cm > $d_{erf\ Frost}$ = 55 cm---→ Nachweis: $d_{TS\ vorh} > d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise: ---

Anhang 29, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem, Strecke 1234, km 15,920 – km 15,620

Gleis: „Neubau“	Gleis Hamburg Eidelstedt - Rothenburgsort
Geschwindigkeit:	v = 80 km/h
Morphologie:	Einschnitt
Maßgebende Sondierprofile:	Neubau: Sch HH 104_BS, Sch HH 105_BS, BS HH 605, Sch HH 108_BS (siehe Unterlage 18.5.30)
Maßgebende Bodenart/-schicht: (ca.1,0 m u. SO)	F (Mudde), SE, [SE] (Schutzschichtreste)
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	1, Schichtwasser
Bemessungsmodul (E_H):	$E_H = E_{vd}$ = 19,8 MN/m² (Neubau Weichenbereich)
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 45 MN/m² (Neubau)
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 80 MN/m² (Neubau) D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

- **Bemessung Tragfähigkeit** (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
  Dicke PSS: d_{TS} = 25 cm, Korngemisch KG1
  Bodenaustausch (BA) mit d = 30 cm und Setzungsabschätzung
  Material: Kies-Sand-Gemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s, $d_{0,063} < 5$ % (F1), D_{Pr} = 1,0

- **Bemessung Frostsicherheit** (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
- Frosteinwirkungsgebiet: II
- Frostempfindlichkeitsklasse: F3 (Neubau Weichenbereich)
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ = 55 cm
- Dicke Tragschicht vorhanden $d_{TS\ vorh}$ = Schotter (30 cm) + PSS (25 cm) + BA (30 cm)
- $d_{TS\ vorh}$ = 85 cm > $d_{erf\ Frost}$ = 55 cm---→ Nachweis: $d_{TS\ vorh} > d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise:
Die erkundete Mudde im Bereich von km 15,900 muss örtlich bis zum Geschiebemergelhorizont ausgekoffert werden!
Nach Aussagen des Planers wird die vorhandene TE instand gesetzt

Anhang 30, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem Bahnhofsgleise Gbf Wandsbek

Gleise: „Neubau“	Bahnhofsgleise, ca. km 57,740 – km 57,250
Geschwindigkeit:	v = 40 km/h bis 60 km/h
Morphologie:	geländegleich
Maßgebende Sondierprofile:	Sch HH 90, Sch HH 88, BS HH 545, BS HH 539, BS HH 538, Sch HH 85, Sch HH 83, BS HH 533,
Maßgebende Bodenart/-schicht: (ca.1,10 m u. SO)	SU*, ST*, TL, weiche Konsistenz örtlich [SE], [SI], [SU]
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	2, Grundwasser < 1,50 m unter SO (Schichtwasser)
Bemessungsmodul (E_H):	E_H = 10 MN/m²
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 45 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 80 MN/m², D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

- **Bemessung Tragfähigkeit** (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
- Dicke PSS: d_{TS} = 35 cm, Korngemisch KG 2
- Bodenaustausch (BA) mit d = 40 cm[1*)] und Setzungsabschätzung
- Material: Kies-Sand-Gemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s, $d_{0,063}$ < 5 % (F1), D_{Pr} = 1,0

- **Bemessung Frostsicherheit** (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04)
- Frosteinwirkungsgebiet: II
- Frostempfindlichkeitsklasse: F 3
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ =65 cm
- Dicke Tragschicht vorhanden $d_{TS\ vorh}$ = Schotter (30 cm) + PSS (35 cm) + BA (40 cm)
- $d_{TS\ vorh}$ = 105 cm > $d_{erf\ Frost}$ =65 cm---→ Nachweis: $d_{TS\ vorh} > d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise:

[1*)] Die Unterkante des Bodenaustausches kann in Abhängigkeit von entwässerungstechnischen Aspekten auch tiefer liegen

- Örtlich wurden Reste von Schutzschichten freigelegt

Anhang 31, Seite 1

Bemessung Tragschichtsystem Bahnhofsgleise Gbf Wandsbek

Gleise: „Verbesserung/Erneuerung“	Bahnhofsgleise, ca. km 57,250 - km 56,740
Geschwindigkeit:	v = 40 km/h bis 60 km/h
Morphologie:	geländegleich
Maßgebende Sondierprofile:	BS HH 529, BS HH 526, Sch HH 81, BS HH 517, BS HH 513, BS HH 510, BS HH 506, BS HH 503, Sch HH 79, BS HH 79A, BS HH 501, 103-RKS2/2009
Maßgebende Bodenart/-schicht: (ca.0,90 m u. SO)	SU*, ST*, TL, weiche Konsistenz örtlich [SE], [SI], [SU]
Hydrologischer Fall (Zielzustand):	2, Grundwasser < 1,50 m unter SO (Schichtwasser)
Bemessungsmodul (E_H):	E_H = 10 MN/m²
Forderungswert auf dem Planum:	E_{v2} = 20 MN/m²
Forderungswert OFTS:	E_{v2} = 40 MN/m², D_{Pr} = 1,0

Bautechnische Schlussfolgerungen/ Bemessung / Sonstige Hinweise:

- **Bemessung Tragfähigkeit** (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04 u. Ril 836.4101A05)
- Dicke PSS: d_{TS} = 20 cm, Korngemisch KG 1
- Bodenaustausch (BA) mit d = 20 cm[1*)]
- Material: Kies-Sand-Gemisch mit $k_f > 10^{-4}$ m/s, $d_{0,063} < 5$ % (F1), D_{Pr} = 1,0

- **Bemessung Frostsicherheit** (gem. Ril 836.4101A02, Ril 836.4101A04)
- Frosteinwirkungsgebiet: II
- Frostempfindlichkeitsklasse: F 3
- Erforderliche Dicke: $d_{erf\ Frost}$ =45 cm
- Dicke Tragschicht vorhanden $d_{TS\ vorh}$ = Schotter (30 cm) + PSS (20 cm) + BA (20 cm)
- $d_{TS\ vorh}$ = 70 cm > $d_{erf\ Frost}$ =45 cm---→ Nachweis: $d_{TS\ vorh} > d_{erf\ Frost}$ erfüllt

Hinweise:

- Örtlich im Bereich von km 57,100 bis km 56,970 und km 56,810 bis km 56,730 wurden nichtbindige Auffüllungen in Form von „alten“ Schutzschichten erkundet
- Seitens der Planung ist eine Tiefenentwässerung vorgesehen

Anhang 32, Seite 1

Verbindungsweg Claudiusstraße/Schlossgarten

Aufschlüsse:
BS HH 601, BS HH 604/DPH HH 286, BS HH 607, BS HH 610/DPH HH 289, BS HH 612, BS HH 613

Morphologie, Baugrund:
Gelände zwischen den Straßen flach wellig; mit Laub- u. Nadelgehölzen, Sträuchern und Gras bewachsen; GOK variiert zwischen Koten ca. NN +11,04 m bis NN +12,14 m. Unter der bewachsenen Geländeoberfläche stehen aufgefüllte, holozäne und/oder pleistozäne Sande mit organischen Bestandteilen (Bodengruppe OH) bis max. 1,05 m u. GOK und folgend enggestufte Sande (Fein- und Mittelsande; Bodengruppe SE) in mitteldichter Lagerung an, in dem lokal steifer, sandiger Geschiebemergel (Bodengruppen ST*/TL) eingeschaltet ist (bis 0,7 m mächtig).

Grundwasser:	
Anschnitt /Ruhe	NN +9,35 m
Bemessungswasserstand	NN +11,0 m am BÜ Claudiusstraße und NN +10,5 m am BÜ Schlossgarten

Bewertung / Klassifikationen / Bemessung / Sonstige Hinweise:	
Durchlässigkeit	• Sande: gut durchlässig; $k \approx 7*10^{-5}$ • Geschiebelehm/-mergel: schwach durchlässig; $k \approx 1*10^{-8}$
Versickerungsfähigkeit:	Im Planum anstehende Böden sind versickerungsfähig; da die Grundwasserüberdeckung temporär < 1,0 m beträgt, müssen Tragschichten erosions- und kolmationssicher hergestellt werden.
Frostempfindlichkeit nach ZTVE StB:	• OH: F2 • SE: F1 • ST*: F3
Tragfähigkeit:	Nach Abtrag Oberboden steht im Planum enggestufter Sand an, der mit mittelschwerem Gerät nah am optimalen Wassergehalt zu verdichten ist. Abnahmeanforderungen: Planum: D_{Pr} = 1,0, E_{v2} = 45 MN/m²; OK 2.TS: E_{v2} = 120 MN/m²
Böschungsneigung für Erdbauwerke	• Böschungen im anstehenden Sand sind 1:2 geneigt zu planen; • für Auffüllungen sind grobkörnige Kiessande (GW, GI) zu verwenden, die 1:1,5 geböscht werden können.
Straßenaufbau: gem. Entwurfsrichtlinie 1 der FHH	• Nach Beanspruchung ➔BK 0,3 • 3. TS: Asphalttragschicht d = 10 cm 2. TS: Schottertragschicht (0/45) d = 25 cm 1. TS: frostunempfindlichem Material; Schottertragschicht (0/45) d = 25 cm • 1. U. 2. TS ist zum anstehenden Baugrund durch ein Geokunststoff (Trenn- und Filterwirkung) zu trennen. Diese Empfehlung gilt für die Teile der ungebundenen TS, die unter dem Bemessungswasserstand (NN +11,0 m) liegen.

Anhang 33, Seite 1

Bahngärten

Aufschlüsse:
BS HH 573, BS HH 570/DPH HH 270, BS HH 567/DPH HH 268, BS HH 563/DPH HH 267

Morphologie, Baugrund:
Gelände flach zur Bovestraße geneigt. Unter der befestigten Geländeoberfläche stehen die Tragschichten des Oberbaus und sandige kiesige Auffüllungen (Bodengruppe OH, SE, SU, SI) vereinzelt mit Wurzel- u. Betonresten an. Auffüllungsmächtigkeit zwischen 0,4 m und 1,10 m; locker bis mitteldicht gelagert. Darunter folgen holozäne und/oder pleistozäne enggestufte Sande (Bodengruppe SE) zw. 0 m bis max. 3,0 m u. GOK und folgend sandiger Geschiebelehm/-mergel (Bodengruppen SU*/ST*/TL) in weicher bis steifer Konsistenz. In der BS HH 573 steht der Geschiebelehm ab 1,1 m u. GOK 0,7 m mächtig an. Darunter folgt bis NN +0,97 m enggestufter Sand (Bodengruppe SE) in mitteldichter bis dichter Lagerung. Sonst steht der Geschiebemergel bis mindestens 25 m unter GOK an.

Grundwasser:	
Anschnitt /Ruhe	NN +8,27 m; NN + 8,08 m
Bemessungswasserstand	NN +9,0 m

Bewertung / Klassifikationen / Bemessung / Sonstige Hinweise:	
Durchlässigkeit	• Sande: durchlässig; $k \approx 5*10^{-5}$ • Geschiebelehm/-mergel: schwach durchlässig; $k \approx 1*10^{-8}$
Versickerungsfähigkeit:	Im Planum aufgefüllte und anstehende Böden sind versickerungsfähig; da die Grundwasserüberdeckung temporär < 1,0 m beträgt, müssen Tragschichten erosions- und kolmationssicher hergestellt werden.
Frostempfindlichkeit nach ZTVE StB:	• OH: F2 • SE: F1 • SU: F2 • SU*/ST*/TL: F3
Tragfähigkeit:	Nach Abtrag Oberboden stehen im Planum enggestufte bis schluffige, kiesige Sande an, die mit mittelschwerem Gerät zu verdichten sind. Abnahmeanforderungen: $D_{Pr} = 1,0$, $E_{v2} = 45$ MN/m²
Böschungsneigung für Erdbauwerke	• Böschungen im anstehenden Sand sind 1:2 geneigt zu planen; für unverbaute Baugruben können Neigungen von 45 ° geplant werden. • für Auffüllungen sind grobkörnige Kiessande (GW, GI) zu verwenden, die 1:1,5 geböscht werden können.
Straßenaufbau: gem. Entwurfsrichtlinie 1 der FHH	• Nach Beanspruchung ➔BK 10 • 3. TS: Asphalttragschicht d = 22 cm 2. TS: Verfestigung (grobkörniger Boden mit Zement) d = 20 cm 1. TS: frostunempfindlichem Material; Schottertragschicht (0/45) d = 28 cm • 1. TS ist zum anstehenden Baugrund durch ein Geokunststoff (Trenn- und Filterwirkung) zu trennen. Diese Empfehlung gilt für die Teile der ungebundenen TS, die unter dem Bemessungswasserstand (NN +9,0 m) liegen.
Hinweise:	• Bewuchs und Oberboden ist soweit vorhanden bis ca. 0,3 m unter GOK abzutragen. Sollte diese Ebene tiefer liegen als Kote Planum, sind bis zum Planum grobkörnige gut verdichtungsfähige Kiessandgemische einzubauen. • Als Tragschichten dürfen keine Ersatzbaustoffe verwendet werden.

Anhang 34, Seite 1

Bovestraße

Aufschlüsse:
BS HH 558/DPH HH 264, BS HH 560/DPH HH 265, BS HH 561, BS HH 562a/DPH HH 266, BS HH 563/DPH HH 267, B HH 35/CPT HH 35, u. Archivaufschlüsse

Morphologie, Baugrund:
Baubereich durch Bauwerke und Verkehrsflächen geprägt. Unter den Verkehrsflächen und Tragschichten des Oberbaus (nicht erkundet) sind kiesige teils schluffige Sande als Auffüllungen (Bodengruppe SE, SU, SU*) zu erwarten. Darunter stehen quartäre Sande mit eingeschalteten Schlufflagen in stark variierender Mächtigkeit an; unterlagert werden diese von Weichsel kaltzeitlichem sandigem Geschiebemergel (Bodengruppe ST*/TL) in weicher bis steifer Konsistenz, dessen höchste Kote bei NN +7,50 zu erwarten ist. Im Bereich EÜ Bovestraße wird durch den Straßenbaulastträger eine Unterlage zur Grundwasserabsenkung betrieben.

Grundwasser:	
Anschnitt /Ruhe	NN +7,77 m (09/1986) - NN +9,37 m (12/2014)
Bemessungswasserstand	NN +9,0 m

Bewertung / Klassifikationen / Bemessung / Sonstige Hinweise:	
Durchlässigkeit:	• Sande: durchlässig; $k \approx 4*10^{-5}$ • Geschiebelehm/-mergel: schwach durchlässig; $k \approx 1*10^{-8}$
Versickerungsfähigkeit:	Im Planum aufgefüllte und anstehende Sande sind versickerungsfähig; da die Grundwasserüberdeckung temporär < 1,0 m beträgt, müssen Tragschichten erosions- und kolmationssicher hergestellt werden.
Frostempfindlichkeit nach ZTVE StB:	• SE: F1 • SU: F2 • SU*/ST*/TL: F3
Tragfähigkeit:	Nach Abtrag Oberboden stehen im Planum enggestufte bis schluffige, kiesige Sande an, die mit mittelschwerem Gerät zu verdichten sind. Abnahmeanforderungen: D_{Pr} = 1,0, E_{v2} = 45 MN/m²
Böschungsneigung für Baugruben:	• für unverbaute Baugruben können Neigungen von 45 ° geplant werden.
Straßenaufbau: gem. Entwurfsrichtlinie 1 der FHH	• Nach Beanspruchung ➔BK 10 • 3. TS: Asphalttragschicht d = 22 cm 2. TS: Verfestigung (grobkörniger Boden mit Zement) d = 20 cm 1. TS: frostunempfindlichem Material; Schottertragschicht (0/45) d = 28 cm • 1. TS ist zum anstehenden Baugrund durch ein Geokunststoff (Trenn- und Filterwirkung) zu trennen. Diese Empfehlung gilt für die Teile der ungebundenen TS, die unter dem Bemessungswasserstand (NN +9,0 m) liegen.
Hinweise:	• Im Untergrund der Straße sind großflächig Störungen des Baugrundes durch Kabel und Leitungen und andere baulichen Unterlagen zu erwarten. Sollte diese umverlegt werden, sind die dabei entstandenen Baugruben mit grobkörnigen gut verdichtungsfähigen Kiessandgemischen aufzufüllen und zu verdichten. • Als Tragschichten dürfen keine Ersatzbaustoffe verwendet werden. Die vorhandene GWA ist ggf. anzupassen.

Anhang 35, Seite 1

Gustav-Adolf-Straße

Aufschlüsse:
BS HH 561, BS HH 558 (wegen dichter Kabellage konnten weitere in der Straße geplante Aufschlüsse trotz mehrmaliger Umsetzung nicht niedergebracht werden)

Morphologie, Baugrund:
Gelände flach zur Bovestraße geneigt. Unter den gebundenen Tragschichten im Gehweg- bzw. Straßenbereich sind aufgeschüttete grobkörnige Böden in mitteldichter Lagerung zu erwarten (sandige kiesige Auffüllungen, Bodengruppe SE). Darunter folgen holozäne bzw. pleistozäne schwach schluffige Sande mit eingeschalteten dünnen Schlufflagen Bodengruppe SE, SU). Im Bereich EÜ Bovestraße wird durch den Straßenbaulastträger eine Unterlage zur Grundwasserabsenkung betrieben.

Grundwasser:	
Anschnitt	NN +9,37 m (wahrscheinlich Kapillarwasser)und NN +8,08 m
Bemessungswasserstand	NN +9,0 m (HGW 2008)

Bewertung / Klassifikationen / Bemessung / Sonstige Hinweise:	
Durchlässigkeit	• Sande: durchlässig; $k \approx 1*10^{-5}$
Versickerungsfähigkeit:	Im Planum aufgefüllte und anstehende Böden sind versickerungsfähig; da die Grundwasserüberdeckung temporär < 1,0 m betragen kann, sollten Tragschichten erosions- und kolmationssicher geplant werden.
Frostempfindlichkeit nach ZTVE StB:	• SE: F1 • SU: F2
Tragfähigkeit:	Nach Abtrag Oberbau und Auffüllungen sind im Planum und Untergrund ausreichend tragfähige enggestufte bis schwach schluffige Sande zu erwarten, die mit mittelschwerem Gerät zu verdichten sind. Abnahmeanforderungen: E_{v2} = 45 MN/m²
Böschungsneigung für Bauzustände	• für unverbaute Baugruben können Neigungen von 45 ° geplant werden.
Straßenaufbau: gem. Entwurfsrichtlinie 1 der FHH	• Nach Beanspruchung ➔BK 1,0 • 3. TS: Asphalttragschicht d = 14 cm 2. TS: Schottertragschicht (0/45) d = 30 cm, Abnahmeanforderungen: E_{v2} = 150 MN/m² 1. TS: frostunempfindlichem Material; Schottertragschicht (0/45) d = 26 cm • 1. U. 2. TS sind zum anstehenden Baugrund durch ein Geokunststoff (Trenn- und Filterwirkung) zu trennen. Diese Empfehlung gilt für die Teile der ungebundenen TS, die unter dem Bemessungswasserstand (NN +9,0 m) liegen.
Hinweise:	• Bewuchs und Oberboden ist soweit vorhanden bis ca. 0,3 m unter GOK abzutragen. Sollte diese Ebene tiefer liegen als Kote Planum, sind bis zum Planum grobkörnige gut verdichtungsfähige Kiessandgemische einzubauen. • Als Tragschichten dürfen keine Ersatzbaustoffe verwendet werden.