



Kempfert Geotechnik GmbH
Hasenhöhe 128
22587 Hamburg

Fon 040 6960445-0
Fax 040 6960445-29
Mail hh@kup-geotechnik.de

Geschäftsführer
Dipl.-Ing. Heiko Vierck

Prokurist
Dr.-Ing. Patrick Becker

Registergericht
Amtsgericht Hamburg
HRB 109428

Ust.-Identnummer
DE264813170

Projekt-Ansprechpartner
Patrick Becker
040 6960445-11
p.becker@kup-geotechnik.de

Arbeitsschwerpunkte
Erkunden
Beraten
Planen
Überwachen
Prüfen
Messen

Kempfert + Partner Gruppe
Hamburg
Würzburg
Konstanz

Anerkannte Sachverständige
Dr.-Ing. U. Berner¹⁾
Prof. Dr.-Ing. H.-G. Kempfert¹⁾
Dr.-Ing. M. Raithe^{1) 2) 3)}

Öffentlich bestellt und vereidigt¹⁾
Prüfsachverständiger²⁾
Eisenbahn-Bundesamt³⁾

Information
www.kup-geotechnik.de

Zertifiziert nach ISO 9001:2015

Geotechnischer Bericht

Band 1

Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen und
Festlegung der charakteristischen Werte

BAB A7 – Ersatzneubau Rader Hochbrücke,
Streckengutachten von km 58,3 bis km 59,0 (Abschnitts-
erweiterung Nord)
und von km 61,9 bis km 63,8 (Abschnittserweiterung Süd)

bearbeitet im Auftrag der

DEGES
Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH
Zimmerstraße 54
10117 Berlin

Hamburg, den 19.12.2019

Az.: HH 229.1/16

Berichtsstatus

Rev.	Datum	aufgestellt	geprüft	Änderungen
00	19.12.2019	gez. fk/km/pb	gez. hv	-

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	Veranlassung	5
2	Unterlagen, Normen und Regelwerke	6
3	Bauvorhaben	8
3.1	Allgemeines	8
3.2	Erweiterungsbereich Nord.....	9
3.3	Erweiterungsbereich Süd.....	10
4	Geotechnischer Untersuchungsbericht	11
4.1	Untersuchungsgebiet	11
4.1.1	Topographie, Morphologie, Bewuchs	11
4.1.2	Geologische Situation	12
4.1.3	Hydrogeologische Situation	12
4.1.4	Altlasten und Altlastenverdachtsflächen.....	13
4.1.5	Schutzgebiete	13
4.2	Baugrundaufschlüsse	13
4.3	Baugrundbeschreibung	14
4.3.1	Allgemeines.....	14
4.3.2	Baugrundsichtung, Erweiterungsbereich Nord	14
4.3.3	Baugrundsichtung, Erweiterungsbereich Süd	16
4.4	Grund- und Schichtwasser	17
4.5	Bodenmechanische Laborversuche	19
4.5.1	Wassergehalte	19
4.5.2	Kornverteilungen	20
4.5.3	Konsistenzgrenzen.....	25
4.5.4	Kompressionsversuche.....	25
4.5.5	Direkte Scherversuche	28
4.5.6	Einaxiale Druckversuche.....	30
4.6	Chemische Analysen des Bodens.....	31

4.6.1	Allgemeines.....	31
4.6.2	Untersuchungsergebnisse	32
4.7	Wasseranalytik.....	34
4.8	Asphalt.....	36
5	Auswertung und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse.....	38
5.1	Charakteristische Bodenkenngrößen für geotechnische Berechnungen.....	38
5.2	Charakteristische Grund- und Schichtwasserstände	39
5.3	Bodenklassifizierung und Homogenbereiche	39

Anlagenverzeichnis

Anlage 1 Übersichtslageplan

Anlage 2 Lageplan der Untergrundaufschlüsse

- Anlage 2.1 Lageplan der Untergrundaufschlüsse, Erweiterungsbereich Nord, Bau-km 0-320 bis Bau-km 0+070
- Anlage 2.2 Lageplan der Untergrundaufschlüsse, Erweiterungsbereich Nord, Bau-km 0-065 bis Bau-km 0+490
- Anlage 2.3 Lageplan der Untergrundaufschlüsse, Erweiterungsbereich Süd Bau-km 3+050 bis Bau-km 4+150
- Anlage 2.4 Lageplan der Untergrundaufschlüsse, Erweiterungsbereich Süd Bau-km 4+080 bis Bau-km 5+170
- Anlage 2.5 Koordinatentabelle der Untergrundaufschlüsse

Anlage 3 Ergebnisse der Untergrundaufschlüsse

- Anlage 3.1 Erweiterungsbereich Nord, Ostseite, Blatt 1 (Bau-km 0-300 bis Bau-km 0-200)
- Anlage 3.2 Erweiterungsbereich Nord, Ostseite, Blatt 2 (Bau-km 0-120 bis Bau-km 0+000)
- Anlage 3.3 Erweiterungsbereich Nord, Westseite, Blatt 1 (Bau-km 0-300 bis Bau-km 0-120)
- Anlage 3.4 Erweiterungsbereich Nord, Westseite, Blatt 2 (Bau-km 0-120 bis Bau-km 0+120)
- Anlage 3.5 Erweiterungsbereich Nord, Westseite, Blatt 3 (Bau-km 0+120 bis Bau-km 0+350)
- Anlage 3.6 Erweiterungsbereich Süd, Ostseite, Blatt 1 (Bau-km 3+150 bis Bau-km 3+500)
- Anlage 3.7 Erweiterungsbereich Süd, Ostseite, Blatt 2 (Bau-km 3+550 bis Bau-km 3+900)
- Anlage 3.8 Erweiterungsbereich Süd, Ostseite, Blatt 3 (Bau-km 3+900 bis Bau-km 4+250)
- Anlage 3.9 Erweiterungsbereich Süd, Ostseite, Blatt 4 (Bau-km 4+250 bis Bau-km 4+400)
- Anlage 3.10 Erweiterungsbereich Süd, Ostseite, Blatt 5 (Bau-km 4+420 bis Bau-km 4+800)
- Anlage 3.11 Erweiterungsbereich Süd, Ostseite, Blatt 6 (Bau-km 4+820 bis Bau-km 5+150)

- Anlage 3.12 Erweiterungsbereich Süd, Westseite, Blatt 1 (Bau-km 3+150, Bau-km 4+100 bis Bau-km 4+300)
- Anlage 3.13 Erweiterungsbereich Süd, Westseite, Blatt 2 (Bau-km 4+350 bis Bau-km 4+400)
- Anlage 3.14 Erweiterungsbereich Süd, Westseite, Blatt 3 (Bau-km 4+480 bis Bau-km 4+800)
- Anlage 3.15 Erweiterungsbereich Süd, Westseite, Blatt 4 (Bau-km 4+800 bis Bau-km 5+150)

- Anlage 4 Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche, Kornverteilungen
 - Anlage 4.1 Kornverteilungen
 - Anlage 4.2 Konsistenzgrenzenermittlungen
 - Anlage 4.3 Kompressionsversuche
 - Anlage 4.4 Direkte Scherversuche
 - Anlage 4.5 Einaxiale Druckversuche

- Anlage 5 Ergebnisse der chemischen Analytik
 - Anlage 5.1 LAGA Analytik, Boden
 - Anlage 5.2 Wasseranalytik, Beton- u. Stahlangriff
 - Anlage 5.3 PAK-Analytik, Asphalt

- Anlage 6 Ganglinien der Grundwassermessstellen

- Anlage 7 Kennzeichnende Bodeneigenschaften der Schichten

1 Veranlassung

Die Rader Hochbrücke überführt seit 1972 die vierstreifige Bundesautobahn A7 ca. 5 km östlich der Kreisstadt Rendsburg auf einer Länge von knapp 1.500 m über die Bundeswasserstraße Nord-Ostsee-Kanal (NOK) sowie die Borgstedter Enge. Bei Überprüfungen im Jahr 2013 wurden durch den Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein (LBV-SH) gravierende Mängel an den Pfeilerköpfen festgestellt und die erforderlichen Instandsetzungsarbeiten eingeleitet.

Das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Technologie (MWAVT) Schleswig-Holstein hat die DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH mit der Planung und Baudurchführung für den Ersatzneubau der Rader Hochbrücke beauftragt.

Die Baumaßnahme erstreckt sich von Norden nach Süden zwischen der Anschlussstelle (AS) Rendsburg/Büdelndorf und dem Autobahnkreuz (AK) Rendsburg. Für den zunächst vorgesehenen vierstreifigen Ersatzneubau war der Bauanfang im Norden bei ca. km 58,6 (Bau-km 0+000) unmittelbar südöstlich der bestehenden Straßenunterführung des Wirtschaftsweges (BW 606) und das Bauende kurz hinter der Straßenunterführung des Rader Wegs bei ca. km 61,9 (Bau-km 3+250) vorgesehen.

Durch unser Büro wurden die im Bereich von Bau-km 0+000 bis ca. Bau-km 3+250 ausgeführten Untergrundaufschlüsse auf Grundlage des zunächst geplanten vierstreifigen Ausbaus der Rader Hochbrücke und der angrenzenden Rampendämme ausgewertet sowie Gründungsempfehlungen für die Erdbauwerke ausgearbeitet, siehe auch Unterlagen U6 und U7.

Zwischenzeitlich ist ein sechsstreifiger Ausbau für die Rader Hochbrücke sowie den Anschlussbereich zwischen der AS Rendsburg-Büdelndorf im Norden und dem AK Rendsburg im Süden vorgesehen. Der sechsstreifig geplante Abschnitt erstreckt sich damit von ca. km 58,3 (Bau-km 0-297) bis ca. km 63,8 (Bau-km 5+150), was einer Gesamtlänge von rund 5.450 m entspricht.

Die Abschnittserweiterung Nord umfasst somit eine beidseitige Erweiterung auf einer Länge von ca. 2 x 300 m und einer einseitigen zusätzlichen Länge von ca. 350 m im bereits untersuchten Bereich (Westseite, Richtungsfahrbahn Flensburg). Im Bereich der Abschnittserweiterung Süd weist der Untersuchungsbereich eine Länge von ca. 1.900 m (Ostseite, Richtungsfahrbahn Hamburg) und von ca. 1050 m (Westseite Richtungsfahrbahn Flensburg) auf.

In Abbildung 1 sind der Untersuchungsbereich aus dem Jahr 2017 (siehe auch Unterlagen U6 und U7) sowie die Bereiche der Abschnittserweiterung (vorliegender Geotechnischer Bericht) schematisch dargestellt.

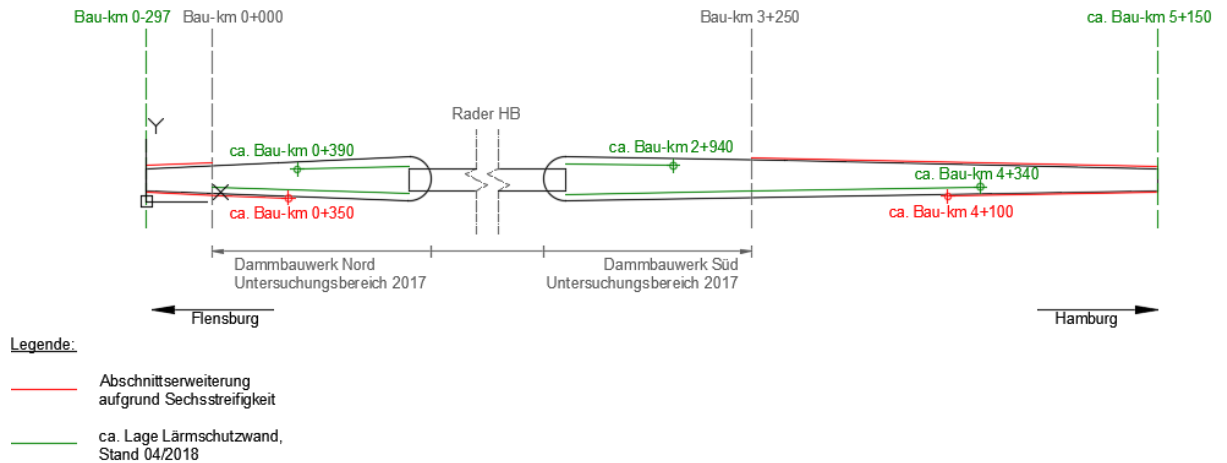


Abbildung 1: Schematische Übersicht, Untersuchungsbereich 2017 und Abschnittserweiterung

Weiterhin sind nach derzeitigem Planungsstand im Bereich der Abschnittserweiterung Nord der Ersatzneubau des BW 606 sowie im Bereich der Abschnittserweiterung Süd die Herstellung einer Wind- und Lärmschutzwand sowie der Ersatzneubau zweier Ingenieurbauwerke, BW 601 und BW 602, vorgesehen.

Kempfert + Partner Geotechnik wurde von der DEGES, Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH, beauftragt, den Aufbau, die Beschaffenheit und die Eigenschaften des Baugrunds sowie die Grundwasserverhältnisse in den erweiterten Planungsbereichen zu erkunden und zu untersuchen, den Baugrund vergleichend zu bewerten und Empfehlungen für die Gründung der geplanten baulichen Anlagen auszuarbeiten.

Der vorliegende Geotechnische Bericht (Band 1) – Abschnittserweiterung – beinhaltet die Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen und die Festlegung der charakteristischen Werte für die Erweiterungsbereiche Nord und Süd. Die Empfehlungen für die Gründung der Anlagen des Straßenverkehrs der Dammbauwerke Nord und Süd sind in dem Geotechnischen Bericht (Band 2) zusammengestellt.

Zu den Bauwerken 601, 602 und 606 sowie den auf dem südlichen Erweiterungsabschnitt zu gründenden Lärm- und Windschutzwänden liegen separate Geotechnische Berichte vor.

2 Unterlagen, Normen und Regelwerke

Für den Geotechnischen Bericht wurden folgende Unterlagen verwendet:

- U1 Grundbauingenieure Steinfeld und Partner GbR, Hamburg, BAB A7 Ersatzneubau Rader Hochbrücke, 1. Bericht, Grundlagenermittlung, Stellungnahmen und Unterlagen, 02.10.2015
- U2 Grundbauingenieure Steinfeld und Partner GbR, Hamburg, BAB A7 Ersatzneubau Rader Hochbrücke, 2. Bericht, Bestandsanalyse Baugrund und Ergebnisse der Drucksondierungen im Bereich der Widerlager, 22.01.2016
- U3 Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH, Berlin, A7 Ersatzbauwerk Rader Hochbrücke, Vorentwurf Höhenplan Achse 102, Bau-km -320 bis 5+020, 16.05.2018, erhalten mit E-Mail vom 06.06.2018

- U4 Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH, Berlin, A7 Ersatzbauwerk Rader Hochbrücke, Vor-entwurf 6-streifige Erweiterung der A7, Betr.-km 58,29 bis Btr.-km 63,59, März 2018
- U5 Erdbaulaboratorium Dr.-Ing. Karl Steinfeld, Hamburg, Bohrprofile Bundesautobahn Ham-burg – Flensburg, 02.06.1967
- U6 Kempfert Geotechnik GmbH, Hamburg, BAB A7 – Ersatzneubau Rader Hochbrücke, Geotech-nischer Bericht (Band 1), Streckengutachten von km 58,6 bis km 61,9, Dammbauwerk Nord und Dammbauwerk Süd, Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen, Festlegung der charakteristischen Werte, 10.11.2017
- U7 Kempfert Geotechnik GmbH, Hamburg, BAB A7 – Ersatzneubau Rader Hochbrücke, Geotech-nischer Bericht (Band 2), Streckengutachten von km 58,6 bis km 61,9, Dammbauwerk Nord und Dammbauwerk Süd, Gründungsempfehlung, 16.02.2018
- U8 Kempfert Geotechnik GmbH, Hamburg, BAB A7 – Ersatzneubau Rader Hochbrücke, Geotech-nischer Bericht (Band 1), Brückenbauwerk BW 603, Ergebnisse der geotechnischen Untersu-chungen und Festlegung der charakteristischen Werte, 21.12.2017
- U9 Kempfert Geotechnik GmbH, Hamburg, BAB A7 – Ersatzneubau Rader Hochbrücke, Geotech-nischer Bericht (Band 2), Brückenbauwerk BW 603, Gründungsempfehlung, 11.05.2018
- U10 Kempfert Geotechnik GmbH, Hamburg, BAB A7 – Ersatzneubau Rader Hochbrücke, Geotech-nischer Bericht (Band 1), Neubau BW 604 (Brücke über die L42), Ergebnisse der geotechni-schen Untersuchungen und Festlegung der charakteristischen Werte, 30.08.2018
- U11 Kempfert Geotechnik GmbH, Hamburg, BAB A7 – Ersatzneubau Rader Hochbrücke, Geotech-nischer Bericht (Band 2), Neubau BW 604 (Brücke über die L42), Gründungsempfehlung, 30.08.2018
- U12 Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, Abteilung Geologie und Boden, Hamburg, E-Mail an Grundbauingenieure Steinfeld und Partner GbR, Betreff: Rohstoffsicherungsflächen sowie weitere Schutzgebiete im Planungsgebiet der Rader Hochbrücke, 29.07.2015
- U13 Kreis Rendsburg-Eckernförde, Fachdienst Umwelt, Untere Bodenschutzbehörde, Schreiben mit Angaben zum Auftreten von Altlasten in den Gemeinden Borgstedt, Rade b. Rendsburg, Schülldorf und Schacht-Audorf, 16.11.2018
- U14 Kreis Rendsburg-Eckernförde, Fachdienst Umwelt, Schreiben mit Angaben zu Altablagerun-gen innerhalb des erweiterten Untersuchungsraumes, erhalten per E-Mail von der DEGES am 20.02.2019
- U15 Vormann & Partner Bohrgesellschaft mbH & Co. KG, Stralsund, Unterlagenkonvolut mit sämt-lichen Aufschlussdaten einschl. Schichtenverzeichnisse und Bohrprofile von 30 Bohrungen und 64 Kleinrammbohrungen, Ergebnisse von 29 Drucksondierungen und 42 schweren Rammsondierungen, Ausbauprofile und Schichtenverzeichnisse der 3 Grundwassermessstel-len, Lagekoordinaten und Höhenkoten der Aufschlusspunkte, erhalten per E-Mail, Januar bis Juli 2019

- U16 Vormann & Partner Vormann & Partner Bohrgesellschaft mbH & Co. KG, Stralsund, Grundwasserstände 06.06.2019, 07.06.2019, 06.08.2019 und 10.09.2019, erhalten per E-Mail, August bis September
- U17 Kempfert Geotechnik GmbH, Hamburg, Ersatzneubau Rader Hochbrücke, Geotechnischer Bericht (Band 1), BW 601 (Überführung der Landesstraße L47 über die BAB A7), Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen und Festlegung der charakteristischen Werte, 30.08.2019
- U18 Kempfert Geotechnik GmbH, Hamburg, Ersatzneubau Rader Hochbrücke, Geotechnischer Bericht (Band 1), Ersatzneubau BW 602 (Brücke über Gemeindestraße Rader Weg), Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen und Festlegung der charakteristischen Werte, 19.12.2019
- U19 Kempfert Geotechnik GmbH, Hamburg, BAB A7 – Ersatzneubau Rader Hochbrücke, Geotechnischer Bericht (Band 2), Ersatzneubau BW 602 (Brücke über Gemeindestraße Rader Weg), Gründungsempfehlung, 03.06.2019
- U20 Kempfert Geotechnik GmbH, Hamburg, Ersatzneubau Rader Hochbrücke, Geotechnischer Bericht (Band 1), Ersatzneubau BW 606 (Brücke über Gemeindestraße Dieksredder), Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen und Festlegung der charakteristischen Werte, 19.12.2019
- U21 Kempfert Geotechnik GmbH, Hamburg, BAB A7 – Ersatzneubau Rader Hochbrücke, Geotechnischer Bericht (Band 2), Ersatzneubau BW 606 (Brücke über Gemeindestraße Dieksredder), Gründungsempfehlung, 29.05.2019

Im vorliegenden Bericht wird auf fachtechnische Normen und Regelwerke verwiesen. Bei allen nachfolgenden undatierten Verweisen auf Normen und Regelwerke gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen). Bei allen nachfolgenden datierten Verweisen auf Normen und Regelwerke gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe.

3 Bauvorhaben

3.1 Allgemeines

Die Ausbaustrecke verläuft von Nord nach Süd und wird für den Streckenausbau in zwei Teilbereiche unterteilt, siehe auch Übersichtlageplan in Anlage 1. Infolge der Abschnittserweiterung aufgrund des sechsstreifigen Ausbaus erfolgt eine Ergänzung von zwei zusätzlichen Teilbereichen, sodass das gesamte Gebiet in insgesamt vier Bereiche unterteilt wird:

- Dammbereich Nord, siehe auch Unterlagen U6 und U7
- Dammbereich Süd, siehe auch Unterlagen U6 und U7
- Erweiterungsbereich Nord
- Erweiterungsbereich Süd

In Tabelle 1 erfolgt für die Untersuchungsbereiche von Bau-km 0-297 bis Bau-km 5+150 des sechsstreifigen Ausbaus gem. Unterlage U4 eine Zuordnung zur Kilometrierung der BAB A7.

Tabelle 1: Übersicht der Teilbereiche für den Streckenausbau

Teilbereich	BAB A7		Bau-Kilometrierung ¹⁾		Länge m
	von km	bis km	von Bau-km	bis Bau-km	
Erweiterungsbereich Nord	ca.58,30	ca. 58,60 ²⁾ ca. 58,95 ³⁾	0-297	0+000 ²⁾ 0+350 ³⁾	300 ²⁾ 650 ³⁾
Dammbauwerk Nord	ca.58,60	ca. 59,50	0+000	0+912	912
Dammbauwerk Süd	ca. 61,00	ca. 61,85	2+412	3+250	838
Erweiterungsbereich Süd	ca. 61,85 ²⁾ ca. 62,70 ³⁾	ca. 63,75	3+250 ²⁾ 4+100 ³⁾	5+150	1.900 ²⁾ 1.050 ³⁾

¹⁾ Bau-km gem. Unterlage U4

²⁾ Ostseite, d. h. Richtungsfahrbahn Flensburg, siehe Unterlagen U6 und U7

³⁾ Westseite, d. h. Richtungsfahrbahn Hamburg, siehe Unterlagen U6 und U7

Das geplante Bauvorhaben umfasst neben dem Streckenausbau auch die Ingenieurbauwerke BW 604 (Straßenunterführung L42 bei Bau-km 0+688 bis Bau-km 0+711), BW 606 (Brückenbauwerk über die Gemeindestraße Dieksredder bei Bau-km 0-008, BW 603 (Rader Hochbrücke im Bereich von Bau-km 0+912 bis Bau-km 2+412), BW 601 (Brückenbauwerk über L47 bei Bau-km 4+379 bis Bau-km 4+402) und BW 602 (Brückenbauwerk über die Gemeindestraße Rader Weg bei Bau-km 3+158), siehe auch Anlage 1. Die Ergebnisse der Baugrunduntersuchung und die darauf aufbauenden Empfehlungen zur Gründung der Ingenieurbauwerke werden in separaten Geotechnischen Berichten zusammengestellt.

3.2 Erweiterungsbereich Nord

Die Gradienten des Dammbauwerks im Erweiterungsbereich Nord steigt im Untersuchungsbereich nach Unterlage U3 von ca. +14,1 mNHN, etwa in Bau-km 0-297 am Beginn der Baustrecke, auf ca. +14,8 mNHN (Ostseite), etwa in Bau-km 0+000 unmittelbar südlich von BW 606, bzw. auf ca. +17,2 mNHN (Westseite), etwa in Bau-km 0+369, an.

Die Längsneigung weist bis Bau-km 0-123 eine Steigung von 0,168 %, im Bereich von Bau-km 0-123 bis 0+198 eine Steigung von 0,310 % und im Bereich von Bau-km 0-198 bis 0+741 eine Steigung von 1,091 % auf.

Das bestehende Gelände am Dammfuß der BAB A7 fällt von Norden nach Süden in Richtung Nord-Ostsee-Kanal ab. Die Geländehöhe am Dammfuß beträgt zum Beginn des Untersuchungsbereiches bei Bau-km 0-297 ca. +11,4 mNHN auf der östlichen bzw. ca. +12,8 mNHN auf der westlichen Dammseite. Das Gelände im Bereich des östlichen Dammfußes fällt auf ca. +11,1 mNHN bei Bau-km 0+000 ab. Auf der westlichen Dammseite fällt das Gelände am Dammfuß bis auf ca. +11,0 mNHN bei Bau-km 0+350 ab.

Aufgrund der Höhe des bestehenden Geländes in der Trassenachse und des Niveaus der Gradienten verläuft die Trasse vom Beginn des Untersuchungsbereiches in km 0+297 bis etwa km 0+350 auf einer Länge von rund 650 m in Dammlage mit Dammhöhen von ca. 2,7 m (Ostseite) bzw. 1,3 m (Westseite) in Bau-km 0+297 bis ca. 3,7 m auf der Ostseite in Bau-km 0+000 bzw. 6,0 m auf der Westseite in Bau-km 0+350.

3.3 Erweiterungsbereich Süd

Im Erweiterungsbereich des Dammbauwerks Süd fällt die Gradienten im Untersuchungsbereich nach Unterlage U3 von Norden nach Süden von +24,8 mNHN, etwa in Bau-km 3+223 südlich von BW 602, auf ca. +15,9 mNHN ab, etwa in Bau-km 4+100, und steigt im weiteren Verlauf wieder auf ca. +17,7 mNHN, etwa in Bau-km 5+020 am Ende der Baustrecke.

Die Längsneigung weist von Bau-km 3+250 bis 3+880 ein Gefälle von 1,379 % und bis Bau-km 5+020 eine Steigung von 0,169 % auf.

Das bestehende Gelände auf der östlichen Seite des Dammfußes der BAB A7 fällt im Untersuchungsbereich von ca. +14,4 mNHN in Bau-km 3+250 auf ca. +13,4 mNHN in Bau-km 3+550 ab, steigt anschließend bis auf +14,1 mNHN in Bau-km 3+700 an und verläuft dann näherungsweise einheitlich auf einer Höhe von ca. +14,1 mNHN bis ca. +14,7 mNHN in Bau-km 4+300. Im weiteren Verlauf steigt das Gelände bis ca. +17,6 mNHN.

Auf der westlichen Seite des Dammfußes steigt das Gelände von ca. +13,8 in Bau-km 4+100 auf ca. +14,4 mNHN bei ca. Bau-km 4+300 an. Zwischen ca. Bau-km 4+300 und ca. Bau-km 4+500 fällt das Gelände auf ca. +13,2 mNHN ab und steigt danach bis auf ca. +16,1 mNHN bei Bau-km 4+600. Zwischen ca. Bau-km 4+700 und ca. Bau-km 4+900 gibt es einen weiteren Einschnitt des Geländes bis auf ca. +12,1 mNHN. Am Ende des Untersuchungsgebiets im Bereich des Zubringers liegt die Geländehöhe bei ca. 17,4 mNHN.

Aufgrund der Höhe des bestehenden Geländes in der Trassenachse und des Niveaus der Gradienten verläuft die Trasse von etwa Bau-km 3+250 bis etwa Bau-km 5+150 auf einer Länge von rund 1.900 m in Dammlage. Am Anfang des Untersuchungsbereiches beträgt die Dammhöhe auf der östlichen Seite bei Bau-km 3+250 ca. 9,5 m und fällt bis Bau-km 4+600 auf ca. 0,1 m ab. Im Bereich des Zubringers liegt das Gelände auf der Ostseite etwa auf Höhe der Gradienten. Auf der westlichen Seite beträgt die Dammhöhe zu Beginn des Untersuchungsbereichs bei Bau-km 4+100 ca. 2,1 m und bei Bau-km 4+900 ca. 4,8 m. Am Ende des Untersuchungsgebiets im Bereich des Zubringers beträgt die Dammhöhe bei etwa Bau-km 5+000 auf der Westseite ca. 0,3 m.

4 Geotechnischer Untersuchungsbericht

4.1 Untersuchungsgebiet

4.1.1 Topographie, Morphologie, Bewuchs

Das Untersuchungsgebiet liegt in Schleswig-Holstein im Landkreis Rendsburg-Eckernförde, ca. 5 km nordöstlich von Rendsburg an der Bundeswasserstraße Nord-Ostsee-Kanal, siehe Anlage 1.

Der Ersatzneubau der Rader Hochbrücke überführt die Bundesautobahn BAB A7 über den NOK und die Borgstedter Enge zwischen der Anschlussstelle AS Rendsburg/Büdelndorf im Norden und dem Autobahnkreuz AK Rendsburg im Süden. Die bestehenden landseitigen Anschlüsse der Rader Hochbrücke führen aufgrund der Topographie und der erforderlichen lichten Durchfahrtshöhe der Bundeswasserstraße NOK die Trasse der A7 in Dammlage.

Für das geplante Dammbauwerk im Erweiterungsbereich Nord liegt im Anfangsbereich des Untersuchungsgebietes bei Bau-km 0-297 die Geländehöhe am Dammfuß westlich der A7 auf einem Niveau von ca. +12,6 mNHN und steigt mit zunehmender Entfernung von der A7 an. Im Verlauf der Trasse Richtung Süden fällt das Gelände im Bereich des Dammfußes auf einer Länge von ca. 650 m von ca. +12,6 mNHN leicht ab und verläuft dann näherungsweise mit gleichbleibender Höhe von ca. +9,5 mNHN bis ca. +11,0 mNHN. Auf der Ostseite beträgt die Geländehöhe am Dammfuß ca. +12,2 mNHN und fällt auf mit zunehmender Entfernung von der A7 ab. Auf der Ostseite verläuft die Geländehöhe am Dammfuß der Trasse in Richtung Süden auf einer Höhe von ca. +12,2 mNHN bis ca. +11,1 mNHN. Der geplante Straßendamm der A7 weist ein Gradientenniveau von ca. +14,1 mNHN bei Bau-km 0-297 auf, welches bis auf ca. +14,8 mNHN bei Bau-km 0+000 und auf ca. +17,24 mNHN bei Bau-km 0+369 ansteigt.

Beim Dammbauwerk im Erweiterungsbereich Süd beträgt bei Bau-km 3+300 die Geländehöhe ca. +15,3 mNHN auf der Ostseite. Das Gelände auf der Ostseite verläuft entlang des Dammfußes und in südlicher Richtung bis zum Ende des Untersuchungsbereiches bei Bau-km 5+150 näherungsweise mit gleichbleibender Höhe zwischen ca. +13,5 mNHN und ca. +15,0 mNHN. Auf der Westseite des bestehenden Dammbauwerks verläuft das Gelände näherungsweise mit gleichbleibender Höhe von ca. +12,0 mNHN bis ca. +14,9 mNHN. Der bestehende Straßendamm weist ein Gradientenniveau von ca. +23,4 mNHN bei Bau-km 3+300 auf, welches bis auf ca. +17,7 mNHN bei Bau-km 5+020 abfällt.

Die Morphologie des Untersuchungsgebietes ist geprägt durch die Weichsel-Kaltzeit. Die Trasse der A7 verläuft im Bereich der Gletscherrandlage, d. h. der Endmoräne, aus dem Brandenburg-Stadium und somit am Rand des östlichen Hügellands (Jungmoränenlandschaft) bzw. im Übergang zur Vorgeest (Altmoränenlandschaft). Die Borgstedter Enge resultiert aus dem ursprünglichen Verlauf der Obereider und ist jetzt ein Seitenarm des NOK. Die Obereider führte mit der Weichsel-Kaltzeit das Schmelzwasser zum Elbe-Urstromtal. Die quartären Schichten werden in größeren Tiefen, die mit den im Rahmen des vorliegenden Berichts durchgeführten Untersuchungen nicht aufgeschlossen wurden, unterlagert durch Braunkohlesande des Jungtertiärs.

Die umliegenden Flächen des Untersuchungsgebietes sind größtenteils durch landwirtschaftliche Nutzung und den Spülflächen am NOK geprägt. In dieser Kulturlandschaft sind, in der für Schleswig-Holstein typischen Weise, die Acker- und Grünflächen durch sogenannte „Knicks“ (Wallhecken) begrenzt. Die Knicks bieten Rückzugsflächen für die einheimische Fauna. Natürlicherweise herrschen in der Jungmoränenlandschaft Buchenwälder bzw. auf trockenen Standorten Eichen-Buchenwälder vor, sowie an feuchten Standorten Eschen- und Erlenwälder. Diese sind im Untersuchungsbereich

nur vereinzelt anzutreffen. Auf vielen Brach-/ Ruderalflächen wie z.B. an den Schultern / Böschungen der Dammbauwerke haben sich kleine Pionierwälder und Trockenrasen entwickelt. Diese Pionierwälder setzen sich aus meist kleinwüchsigen Gehölzen wie der Hänge-Birke (*Betula pendula*), Weißdorn (*Crataegus*), Brombeere (*Rubus*), Haselnuss (*Corylus*) und in einer Krautschicht aus Draht-Schmiele (*Avenella flexuosa*), Beifuß (*Artemisia*), Brennesseln (*Urtica*) und weiteren Ruderalisierungsanzeigern zusammen. Vereinzelt sind Kiefer (*Pinus*) und Ahorn (*Acer*) anzutreffen.

4.1.2 Geologische Situation

Der Erweiterungsbereich des Dammbauwerks Nord liegt im Bereich der Eisrandlage und wird von Bau-km 0-297 bis Bau-km 0+000 durch eine oberflächennahe Geschiebemergel-/ Geschiebelehm-schicht mit einer Mächtigkeit von bis zu ca. 5 m geprägt. Im Liegenden der Geschiebeeböden stehen Schmelzwassersande an. Die Schmelzwassersande werden von Beckenablagerungen, die eine Mächtigkeit von ca. 4 m bis zu 9 m aufweisen können, sowie älteren Grundmoränenablagerungen und Sanden unterlagert.

Im Erweiterungsbereich des Dammbauwerks Süd befindet sich NW-SO orientiert die Eisrandlage des Weichselvorstoßes. Die Böden am Dammfuß bestehen aus Schmelzwasserablagerungen. Am östlichen Dammfuß sind vereinzelt oberflächennahe Geschiebelehme anzutreffen. Im Liegenden dominieren schluffigen Feinsande, welche in Wechsellagerung mit Beckenschluffen und Beckentonen mit Mächtigkeiten von bis zu 8 m anstehen.

4.1.3 Hydrogeologische Situation

Im Untersuchungsgebiet stehen im oberflächennahen Untergrund überwiegend pleistozäne Geschiebeeböden und Sande an. Bereichsweise werden die pleistozänen Sande von pleistozänen Beckenschluffen und Beckentonen unterlagert.

Die pleistozänen Sande bilden generell einen ausgedehnten zusammenhängenden Porengrundleiter, der jedoch örtlich auch durch die vergleichsweise gering durchlässigen Geschiebeeböden eine zergliederte Ausprägung aufweist.

Die Grundwasseroberfläche kann sich in den Bereichen, in denen die sandigen Böden ab der Geländeoberfläche anstehen, frei ausbilden, während in Trassenbereichen mit den sehr gering durchlässigen Beckenschluffen, Beckentonen und Geschiebeeböden (Grundwassergeringleiter) das Grundwasser an der Unterkante dieser Schichten i. d. R. gespannt ansteht.

Auf den oberflächennah anstehenden Geschiebeeböden kann sich witterungs- und niederschlagsbedingt Stauwasser ausbilden, welches überwiegend in Trassenrichtung der Borgstedter Enge bzw. dem NOK abfließt bzw. auch vertikal dem unterlagernden Grundwasserleiter zusickert.

Im Bereich des Dammbauwerks Nord sowie des Erweiterungsbereichs Nord findet ein Grundwasserabstrom von Norden nach Süden in Richtung Borgstedter Enge statt. Im Bereich des Dammbauwerks Süd sowie des Erweiterungsbereichs Süd ist der Grundwasserabstrom von Süden nach Norden in Richtung NOK orientiert.

Gemäß der hydrogeologischen Übersichtskarte (Unterlage U1, dort Anlage 10) werden die im Rahmen der durchgeführten Baugrundaufschlüsse aufgeschlossenen Bodenschichten in größeren Tiefen unterlagert durch miozäne Braunkohlesande des Jungtertiär.

Die Trasse befindet sich gem. Unterlage U1, dort Anlage 9, außerhalb von Grundwasserschutz- und Trinkwassergewinnungsgebieten.

4.1.4 Altlasten und Altlastenverdachtsflächen

Im nördlichen Untersuchungsbereich sind gem. Unterlage U1, dort Anlagen 12 und 13, keine Altlasten und Altlastenverdachtsflächen bekannt. Gemäß den Unterlagen U13 und U14 befindet sich im südlichen Bereich zwischen Bau-km 4+800 und Bau-km 4+950 auf der westlichen Seite des Dammbauwerks (Flur 4, Flurstück 6/10 in der Gemeinde Schülldorf) eine Altlastenverdachtsfläche. Hierbei handelt es sich laut Unterlage U14 um die alte Bauschuttdeponie Hamkens (Aktenzeichen 66.108.26.65.146.2), auf der Bauschutt sowie illegale Ablagerungen von Siedlungsabfällen in geringem Umfang angetroffen werden können.

4.1.5 Schutzgebiete

Nach der Karte der Schutzgebiete des Bundesamtes für Naturschutz (Unterlage U12) grenzt das Dammbauwerk Nord unmittelbar an den Naturpark Hüttener Berge.

4.2 Baugrundaufschlüsse

Der Baugrundaufbau in den Erweiterungsbereichen Nord und Süd wurde zwischen Januar und Mai 2019 mit 30 Bohrungen (B), 54 Kleinrammbohrungen (BS), 29 Spitzendrucksondierungen (DS) und 37 schweren Rammsondierungen (DPH) erkundet. Zur Entnahme von Wasserproben aus dem Grundwasserhorizont und zur langfristigen Aufzeichnung der Wasserstände mithilfe von Datenloggern wurden drei Bohrungen (GWM06, GWM07 und GWM08) zu Grundwassermessstellen ausgebaut. Die Aufschlüsse wurden von der Firma Vormann & Partner Bohrgesellschaft mbH & Co. KG, Stralsund, ausgeführt und zusätzlich durch unser Büro begleitet und überwacht.

Die Bohrungen wurden bis in eine Tiefe zwischen 16 m u. GOK und 25 m u. GOK, entsprechend maximal -14,4 mNHN (B65) ausgeführt. Die Kleinrammbohrungen sowie die schweren Rammsondierungen wurden mit einer planmäßigen Tiefe von 10 m bis 15 m u. GOK vorgesehen. Die tatsächlichen Erkundungstiefen der Kleinrammbohrungen und Rammsondierungen auf den Dammbauwerken sind vereinzelt, aufgrund der z. T. hohen Lagerungsdichten bzw. auch infolge von Hindernissen, z. T. auch geringer. Die Drucksondierungen wurden bis in Tiefen von maximal -17,0 mNHN (DS83, DS90) ausgeführt.

Weiterhin liegen Altaufschlüsse aus den Jahren 1967, 2015, 2016 und 2017 vor. Dabei handelt es sich um Altbohrungen aus dem Jahr 1967, um Drucksondierungen aus den Jahren 2015 und 2016, siehe auch Unterlage U1 und U2, sowie um die Aufschlüsse der Haupterkundung, siehe auch Unterlage U6.

Die Lage der Baugrundaufschlüsse kann den Anlagen 2.1 bis 2.4 entnommen werden. Die Ergebnisse der Aufschlüsse sind im Maßstab 1:100 höhengerecht in den Anlagen 3.1 bis 3.15 gem. DIN 4023¹ aufgetragen.

4.3 Baugrundbeschreibung

4.3.1 Allgemeines

Die Baugrundbeschreibung erfolgt für die Erweiterungsbereiche Nord und Süd. Der Baugrund kann demnach unter Berücksichtigung der Ergebnisse der ausgeführten Untergrundaufschlüsse sowie der vorliegenden Altaufschlüsse wie folgt beschrieben werden.

4.3.2 Baugrundsichtung, Erweiterungsbereich Nord

Mutterboden / Auffüllung

Mit den Bohrungen B60, B62, B64, GWM06 und B66 bis B68 wurde am westlichen Böschungsfuß sowie mit der Kleinrammbohrung BS52 am östlichen Böschungsfuß im Bereich von BW 606 Mutterboden ab der Geländeoberkante angetroffen. Mit der Kleinrammbohrung BS51 wurde alter Mutterboden unterhalb des Dammbauwerkes erkundet. Kornanalytisch handelt es sich um humose Fein- und Mittelsande mit z. T. schluffigen, grobsandigen und kiesigen Bestandteilen. Der Mutterboden ist schwach bis stark humos ausgeprägt. Die Mächtigkeit des Mutterbodens liegt zwischen 0,3 m und 1,0 m, bzw. im Mittel ca. 0,65 m.

Unterhalb der Oberflächenbefestigung (Asphalt, teilweise Beton) des bestehenden Dammbauwerks stehen aufgefüllte Sande und schluffige Sande an. In den Aufschlüssen auf dem Dammbauwerk bzw. auf den Rampen außerhalb der Fahrbahnfläche wurden ab GOK aufgefüllte Böden angetroffen. Die Mächtigkeit dieser Auffüllung entspricht etwa der Dammhöhe am jeweiligen Aufschlusspunkt. Kornanalytisch handelt es sich hauptsächlich um Fein- und Mittelsande, welche meist schwach grobsandig bis grobsandig, schwach kiesig und teilweise schwach schluffig ausgeprägt sind. Die Lagerungsdichte kann anhand der schweren Rammsondierungen überwiegend als locker (DPH32, DPH40, DPH41) bis mitteldicht (DPH31, DPH33, DPH34, DPH36) bezeichnet werden. Die Ergebnisse der schweren Rammsondierungen DPH42 und DPH43 lassen ab einer Tiefe von etwa 1,0m unter GOK auf eine dichte Lagerungsdichte schließen. Im Übergangsbereich der Auffüllung zum gewachsenen Boden ist ein Anstieg der Lagerungsdichte festzustellen, so ist eine Zunahme der Lagerungsdichte auf eine mitteldichte (DPH40) und auf eine vereinzelt sehr dichte (DPH41) Lagerungsdichte zu beobachten.

Mit dem Aufschluss BS52 wurde am östlichen Bestandsdammfuß im Bereich von BW 606 und mit der Bohrung B67 am westlichen Bestandsdammfuß auch außerhalb des Bestandsdammes eine sandige Auffüllung mit einer mitteldichten Lagerungsdichte (DPH39, DS81) angetroffen. Die Mächtigkeit der Auffüllung beträgt ca. 0,5 m bis ca. 3,0 m.

¹ DIN 4023: Baugrund- und Wasserbohrungen, zeichnerische Darstellung der Ergebnisse

Geschiebelehm / Geschiebemergel

Im Bereich des östlichen Dammfußes bzw. der östlichen Dammkrone wurde in den Aufschlüssen B59 und B61 bzw. BS51 im Liegenden der aufgefüllten Sande ab einem Niveau von ca. +9,85 mNHN ein Geschiebelehmhorizont erkundet. Die Mächtigkeit dieses Horizonts beträgt ca. 0,4 bis 0,7 m. Im Bereich des westlichen Dammfußes bzw. der westlichen Dammkrone wurden in den Aufschlüssen B60, B66 und BS44 unterhalb des Mutterbodens bzw. der gewachsenen Sande ab einem Niveau zwischen +12,3 mNHN und +9,4 mNHN ebenfalls Geschiebelehm mit einer Mächtigkeit von 1,4 m bis 3,2 m angetroffen.

Ab einem Niveau zwischen +10,5 mNHN (BS45) und +4,2 mNHN (GWM06) steht teilweise im Liegenden und teilweise im Hangenden des Geschiebelehms bzw. der gewachsenen Sande Geschiebemergel an. Die Mächtigkeit des Geschiebemergels in den Aufschlüssen variiert zwischen 0,2 m und 3,7 m. In den Bohrungen B60, B62 und B64 sowie in den Kleinrammbohrungen BS48a und BS49 wurde keine Geschiebemergelschicht in dieser Höhenlage angetroffen.

Mit den Aufschlüssen B59, B60, B62, B64, B65, B66, GWM06 und BS44 wurde ein weiterer Geschiebemergelhorizont auf einem Niveau von +0,45 mNHN (BS44) bis -5,0 mNHN (B66) angetroffen. Die Mächtigkeit des unteren Geschiebemergelhorizonts beträgt in den Bohrungen B65 und GWM06 etwa 6,6 m bzw. 5,2 m.

Weitere Geschiebemergelhorizonte wurden in Wechsellagerung mit Sanden und Kiesen mit den Aufschlüssen B59 und B67 erkundet.

Kornanalytisch sind der Geschiebelehm und der Geschiebemergel überwiegend als stark schluffiger, schwach toniger und schwach kiesiger Sand und teilweise als sandiger, schwach toniger bis stark toniger und schwach kiesiger Schluff anzusprechen. Die Konsistenz des Geschiebelehms wurde überwiegend mit weich bis steif und die Konsistenz des Geschiebemergels wurde mit weich bis halbfest angesprochen.

Mit der Bohrung B60 wurde am westlichen Dammfuß eine verwitterte Kreideeinlagerung mit einer Mächtigkeit von ca. 0,7 m in dem Geschiebemergel bei etwa -0,2 mNHN erkundet. In den Aufschlüssen BS44, B62, B64 und GWM06 wurden auf der Westseite in den Geschiebemergelschichten Kreidebrocken angetroffen.

Gewachsene Sande

Im Hangenden und Liegenden der Geschiebelehm- und Geschiebemergelhorizonte wurden gewachsene Sande erkundet, die meist bis zur Endteufe nicht durchörtert wurden. Kornanalytisch handelt es sich hauptsächlich um feinsandige, grobsandige und schwach kiesige Mittelsande oder um schwach schluffige bis schluffige Feinsande, vereinzelt auch um mittelsandige und kiesige Grobsande. Vereinzelt wurden humose Bänder bzw. Lagen und Holzkohlereste erkundet. Die gewachsenen Sande sind auf Grundlage der Ergebnisse der Drucksondierungen und schweren Rammsondierungen oberflächennah vereinzelt als locker bis mitteldicht und mit zunehmender Tiefe als mitteldicht und dicht gelagert zu bezeichnen.

Gewachsene Kiese

Auf der westlichen Seite der BAB A7 wurden in den Bohrungen B62, B64, B66, B67 und GWM06 sowie in den Kleinrammbohrungen BS48a, BS49 und BS50 sowie auf der östlichen Seite in der Kleinrammbohrung BS47 eingeschaltet in die gewachsenen Sande in unterschiedlichen Mächtigkeiten und Höhenlagen vielfach Kieshorizonte mit z. T. hohen Sandanteilen erkundet. Die Mächtigkeiten variieren zwischen 0,5 m (B62) und 5,5 m (BS48a). Kornanalytisch handelt es sich um Kiese und

Sand-Kies-Gemische, welche z. T. steinig und vereinzelt schwach schluffig ausgeprägt sind. Die Lagerungsdichte der Kiese und Kiessande ist auf Grundlage der Ergebnisse der Drucksondierungen und schweren Rammsondierungen überwiegend als mitteldicht, teilweise auch als dicht zu bezeichnen.

Beckenablagerungen

Mit den Aufschlüssen B59, B60, B61, B62, B64, B65, GWM06 und BS50 wurden Beckenablagerungen (schwach schluffige bis stark schluffige Feinsande, feinsandige, tonige Schluffe sowie schluffige Tone) ab einem Niveau zwischen +2,2 mNHN (B60) und -4,4 mNHN (B66) erkundet. Die Mächtigkeit dieser Schichten beträgt 0,45 bis 1,5 m. Die Konsistenz wurde überwiegend mit mind. steif, nur im oberflächennahen Bereich z. T. mit breiig bzw. weich, angesprochen.

In der Kleinrammbohrung BS49 wurde zwischen etwa +5,0 mNHN und +5,3 mNHN Beckenschluff angetroffen.

4.3.3 Baugrundsichtung, Erweiterungsbereich Süd

Mutterboden / Auffüllung

Mit den Aufschlüssen am östlichen Dammfuß wurde durchgängig und am westlichen Dammfuß in den Kleinrammbohrungen BS80, BS90, BS95 und BS101 Mutterboden ab der Geländeoberkante angetroffen. Mit den Kleinrammbohrungen BS56, BS63, BS102 und BS105 wurde alter Mutterboden unterhalb des Dammbauwerkes erkundet. Kornanalytisch handelt es sich um humose Fein- und Mittelsande mit z. T. schluffigen, grobsandigen und kiesigen Bestandteilen. Der Mutterboden ist schwach bis stark humos ausgeprägt. Die Mächtigkeit des Mutterbodens liegt zwischen 0,3 m und 1,3 m.

Unterhalb der Oberflächenbefestigung (Asphalt, teilweise Beton) des bestehenden Dammbauwerkes stehen aufgefüllte Sande und schluffige Sande an. In den Aufschlüssen auf dem Dammbauwerk bzw. auf den Rampen außerhalb der Fahrbahnfläche wurde ab GOK eine Auffüllung angetroffen. Die Mächtigkeit dieser Auffüllungen entspricht etwa der Dammhöhe am jeweiligen Aufschlusspunkt. Kornanalytisch handelt es sich hauptsächlich um Fein- und Mittelsande, welche meist schwach grobsandig bis grobsandig, schwach kiesig und teilweise schwach schluffig bis schluffig ausgeprägt sind. Die Lagerungsdichte kann anhand der schweren Rammsondierungen überwiegend als locker bis mitteldicht bezeichnet werden. Ausnahmen mit einer dichten bis sehr dichten Lagerungsdichte wurden mit den schweren Rammsondierungen DPH44, DPH48 und DPH50 im Mittel- und Seitenstreifen der Richtungsfahrbahn Flensburg südlich des BW 602 festgestellt.

Mit den Aufschlüssen B71, B74, BS67, BS73 und BS97 wurden am östlichen Bestandsdammfuß und mit den Aufschlüssen B75, BS90, BS95 und BS101 am westlichen Bestandsdammfuß unterhalb des Mutterbodens aufgefüllte Sande mit einer lockeren bis mitteldichten Lagerungsdichte (DPH70) erkundet.

In den Aufschlüssen BS98 und BS99 wurde beidseitig am Bestandsdammfuß ab GOK auch außerhalb des Bestandsdammes eine sandige Auffüllung angetroffen. Die Mächtigkeit der aufgefüllten Sande variiert zwischen ca. 1,0 m und ca. 5,0 m.

Geschiebelehm

Ab einem Niveau von etwa +13,8 mNHN (BS62) wurde mit den Aufschlüssen B70 und BS62 unterhalb des Mutterbodens bzw. unterhalb einer geringmächtigen Schicht gewachsener Sande Geschiebelehm angetroffen. Die Mächtigkeit beträgt etwa 0,4 m bis 0,8 m. Kornanalytisch ist der Geschiebelehm überwiegend als schluffiger bis stark schluffiger, schwach toniger und schwach kiesiger Sand anzusprechen. Die Konsistenz des Geschiebelehms wurde mit weich bis steif angesprochen.

Gewachsene Sande

In Wechsellagerung mit den Beckenablagerungen wurden unterhalb des Mutterbodens und der Auffüllungen bzw. des Geschiebelehms gewachsene Sande erkundet, die meist bis zur Endteufe nicht durchörtert wurden. Kornanalytisch handelt es sich hauptsächlich um schwach schluffige bis schluffige, z. T. auch schwach mittelsandige bis mittelsandige Feinsande und nur im oberflächennahen Bereich vermehrt auch um Mittelsande, teilweise mit grobsandigen Anteilen. Vereinzelt wurden in den schluffigen Feinsanden Holzkohlereste erkundet. Die gewachsenen Sande sind auf Grundlage der Ergebnisse der Drucksondierungen und schweren Rammsondierungen als mitteldicht, z. T. auch als locker und dicht gelagert einzustufen.

Gewachsene Kiese

In den Bohrungen B71 (Ostseite) und B84 (Mittelstreifen) wurden eingeschaltet in die gewachsenen Sande in unterschiedlichen Mächtigkeiten und Höhenlagen vereinzelt Kieshorizonte angetroffen. Kornanalytisch handelt es sich um Kiese und Sand-Kies-Gemische. Die Lagerungsdichte der Kiese und Kiessande ist auf Grundlage der Ergebnisse der Drucksondierungen und schweren Rammsondierungen überwiegend als mitteldicht, teilweise auch als dicht zu bezeichnen.

Beckenablagerungen

In Wechsellagerung mit den gewachsenen Sanden wurden Beckenablagerungen (stark schluffige Feinsande sowie feinsandige, tonige Schluffe und schluffige Tone) ab einem Niveau zwischen +13,4 mNHN (BS62) und +8,7 mNHN (B71) erkundet. Die Konsistenz wurde mit weich bis halbfest angesprochen.

4.4 Grund- und Schichtwasser

Grund- und Schichtwasserstände wurden im Zuge der Bohrarbeiten aufgenommen sowie mit insgesamt drei Pegeln im Bereich der Dammbauwerke eingemessen.

Diesbezüglich ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass die im Zuge der Erkundung gemessenen Wasserstände keine Höchstwerte darstellen und in niederschlagsreichen Zeiten überschritten werden können.

In Abbildung 2 sind die während der Bohrarbeiten 2017 (blau) und 2019 (rot) eingemessenen Ruhewasserstände entlang der Trasse für die Dammbauwerke zusammengestellt. Die am (östlichen) Dammfuß eingemessenen Ruhewasserstände sind mit Kreissymbolen zusammen mit den korrespondierenden Ansatzhöhen des Bestandsgeländes dargestellt. Die im Bereich der bestehenden Dammbauwerke eingemessenen Ruhewasserstände sind mit Quadraten symbolisiert. Die Geländehöhe der Bestandsgradienten entspricht näherungsweise der geplanten Gradienten gem. Unterlage U4. Zusätz-

lich sind mit violetten (2017) und grünen (2019) Kreissymbolen die Pegelmessungen der Grundwassermessstellen eingetragen. Die Messungen der Pegelstände bis zum Einbau der Datenlogger am 10.09.2019 sind in der Tabelle 2 und die Ganglinien der Pegel in der Anlage 6 zusammengestellt.

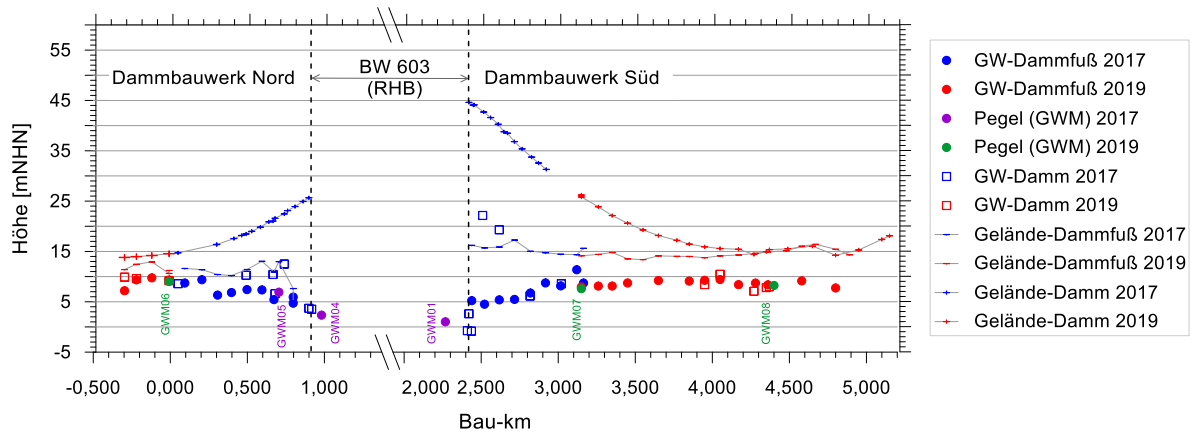


Abbildung 2: Grundwasserstände (Pegel) sowie bei den Bohrarbeiten eingemessene Ruhewasserstände entlang Trasse im östlichen Damm- und Erweiterungsbereich

Tabelle 2: Messungen der Pegelstände in den Grundwassermessstellen 06, 07 und 08

Pegelbezeichnung	Wasserstand [mNHN]			
	nach Bohrung	06./07.06.2019	06.08.2019	10.09.2019
GWM06	+8,98	+9,27	+9,04	+8,96
GWM07	+8,62	+8,02	+7,60	+7,46
GWM08	+9,33	+8,60	+8,24	+8,08

Es ist festzustellen, dass sich im Fußbereich des Erweiterungsbereichs des Dammbauwerks Nord auf der östlichen Dammseite Grund- und Schichtwasserstände einstellen, die in Bau-km 0-297 etwa +7,2 mNHN betragen, in Bau-km 0-120 auf etwa +9,8 mNHN ansteigen und in südliche Richtung auf etwa +9,3 mNHN in Bau-km 0-008 im Bereich von BW 606 abfallen. Im östlichen Bereich des Dammbauwerks selbst wurden Schichtwasserstände im Bereich von Bau-km 0-297 bis Bau-km 0-008 zwischen +9,2 mNHN und +9,9 mNHN gemessen. Auf der westlichen Dammseite wurden am Böschungsfuß Grundwasserstände zwischen etwa +8,6 mNHN und etwa +10,1 mNHN gemessen. Im westlichen Bereich des Dammbauwerks selbst weisen die Schichtwasserstände im Bereich von Bau-km 0-297 bis Bau-km 0-008 etwa Höhen von +8,9 mNHN bis +11,8 mNHN auf.

Im Fußbereich des Erweiterungsbereichs des Dammbauwerks Süd wurden auf der Ostseite im Bereich von Bau-km 3+250 Grundwasserstände von etwa +8,1 mNHN gemessen, die bis Bau-km 4+080 auf etwa +9,4 mNHN ansteigen und bis Bau-km 4+780 auf ca. +7,7 mNHN abfallen. Im Dammbauwerk selbst stellten sich auf der Ostseite Schichtwasserstände im Bereich von ca. Bau-km 3+950 bis ca. Bau-km 4+370 zwischen +7,1 mNHN und +10,5 mNHN ein. Auf der westlichen Dammseite wurden Grundwasserstände zwischen etwa +7,3 mNHN und etwa +9,9 mNHN gemessen. Im Dammbauwerk selbst weisen die Schichtwasserstände auf der Westseite etwa eine Höhe von +8,9 mNHN auf.

Der Vergleich mit den Grundwasserständen aus Unterlage U1, dort Anlage 11, ergibt eine weitgehende Übereinstimmung mit den im Zeitraum von 2003 bis 2015 aufgezeichneten Ganglinien. Die Langzeitmessungen zeigen wiederkehrende jahreszeitliche Schwankungen von etwa 1 m bis 2 m.

4.5 Bodenmechanische Laborversuche

4.5.1 Wassergehalte

Zur vergleichenden Bewertung und zur Bestimmung der Bodenkennwerte wurden Wassergehalte gem. DIN EN ISO 17892-1² an ausgewählten bindigen Proben bestimmt. Zusätzlich sind hier die Wassergehalte aus den Untersuchungen zur Bestimmung der Konsistenzgrenzen sowie der Sonderversuche berücksichtigt worden. Eine Übersicht über die Ergebnisse ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Übersicht über die Wassergehalte ausgewählter Proben

Bodenart	Wassergehalte w [%]		
	Min.	Mittelw.	Max.
SD14 Geschiebelehm, weich-steif bis steif w: 3 Versuche	13,4	15,5	17,9
SD15 Geschiebemergel, breiig bis weich-steif w: 4 Versuche	11,5	15,1	19,9
SD16 Geschiebemergel, mind. steif w: 13 Versuche	10,8	12,6	19,4
SD18 Beckenschluff, sandig w: 45 Versuche	9,9	22,3	28,5

Die Einzelergebnisse der Wassergehalts- und Glühverlustbestimmungen können den Bohrprofilen der Anlagen 3.1 bis 3.15 entnommen werden und sind in Abbildung 3 höhengerecht zusammengestellt.

² DIN EN ISO 17892-1: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 1: Bestimmung des Wassergehalts

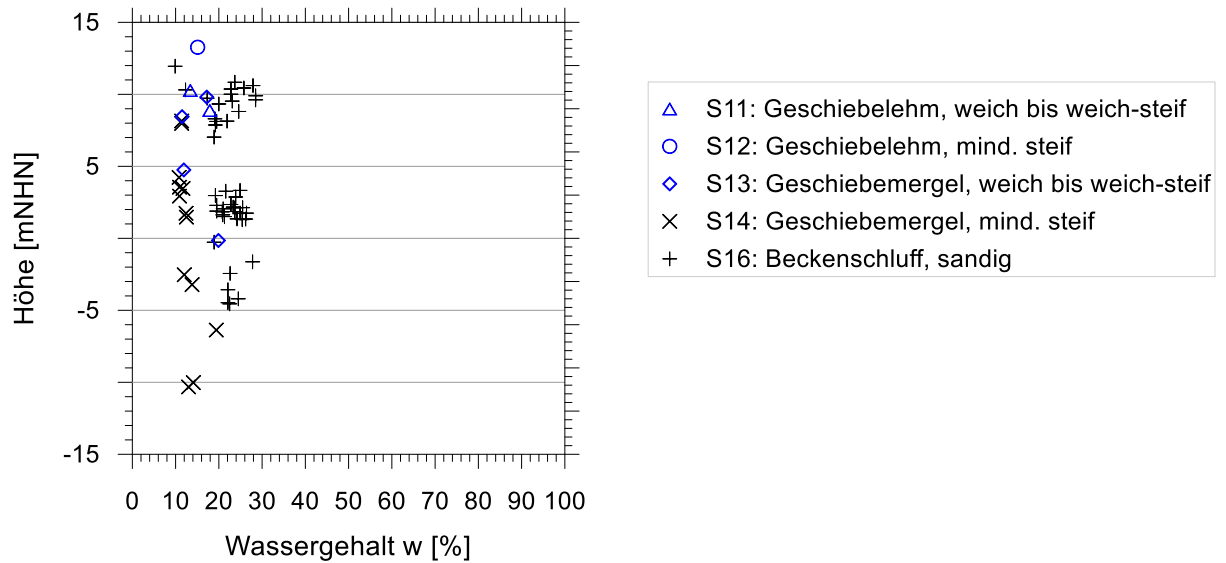


Abbildung 3: Wassergehalte der untersuchten Bodenproben

4.5.2 Kornverteilungen

Zur Ergänzung der im Probenlager (Rendsburg) durchgeführten Bodenprobenansprache (Januar bis Mai 2019) wurden an kennzeichnenden Bodenproben Kornverteilungsanalysen nach DIN EN ISO 17892-4³ durchgeführt.

Die Ergebnisse der durchgeführten Kornverteilungsanalysen sind in Form von Kornverteilungskurven in der Anlage 4.1 dokumentiert.

Auffüllung: Sand (Schicht SD2 bis SD4) und Sand, schluffig (Schicht SD5)

Die Ergebnisse der Nasssiebungen bzw. der kombinierten Sieb- und Schlämmanalysen zeigen, dass es sich bei dem aufgefüllten Sand (Anlage 4.1, Blatt 1) sowohl um enggestufte, z. T. schwach schluffige bis schluffige Fein- und Mittelsande handelt, als auch um weitgestufte, z. T. schwach schluffige Sande mit kiesigen Anteilen, welche gem. DIN 18196⁴ den Bodengruppen SE, SU und SU* zuzuordnen sind. Abbildung 4 zeigt das anhand der Ergebnisse der Laborversuche erstellte Körnungsband (Bandbreite der Körnungslinien).

³ DIN EN ISO 17892-4: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 4: Bestimmung der Korngrößenverteilung

⁴ DIN 18196: Erd- und Grundbau, Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke

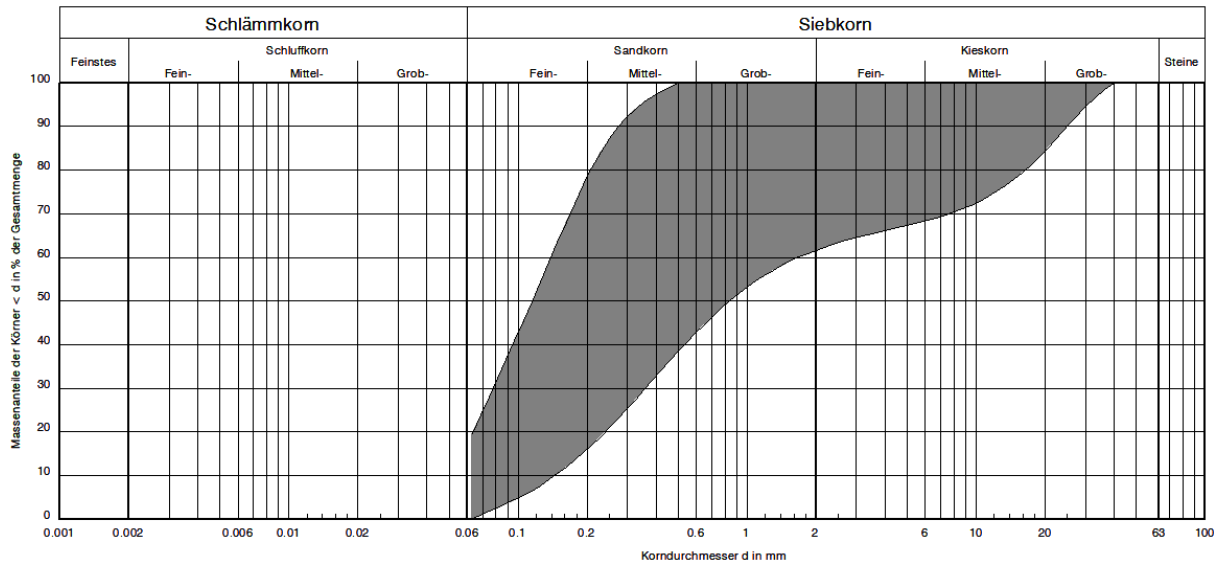


Abbildung 4: Körnungsband Auffüllung, Sand (Schicht SD2 bis SD4) und Auffüllung, Sand, schluffig (Schicht SD5)

Sand (Schicht SD7 bis SD9) und Sand, schluffig (Schicht SD10)

Die gewachsenen Sande (Anlage 4.1, Blatt 2 bis Blatt 4) sind überwiegend enggestuft und weisen vielfach schwach schluffige Anteile auf. Zum Teil liegen weitgestufte Sande vor. Die gewachsenen Sande sind den Bodengruppen SE, SI und SU zuzuordnen. Ein Körnungsband ist in Abbildung 5 dargestellt. Die schluffigen Sande (Anlage 4.1, Blatt 5) sind der Bodengruppe SU und SU* zuzuordnen und werden mit dem Körnungsband in Abbildung 6 repräsentiert.

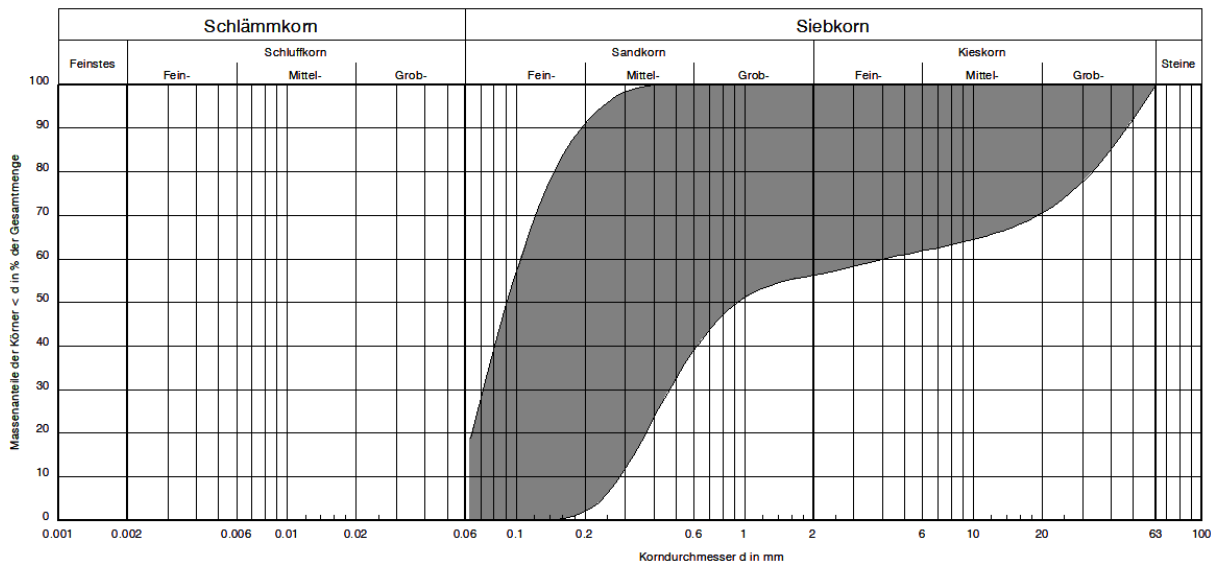


Abbildung 5: Körnungsband Sand (Schicht SD7 bis SD9)

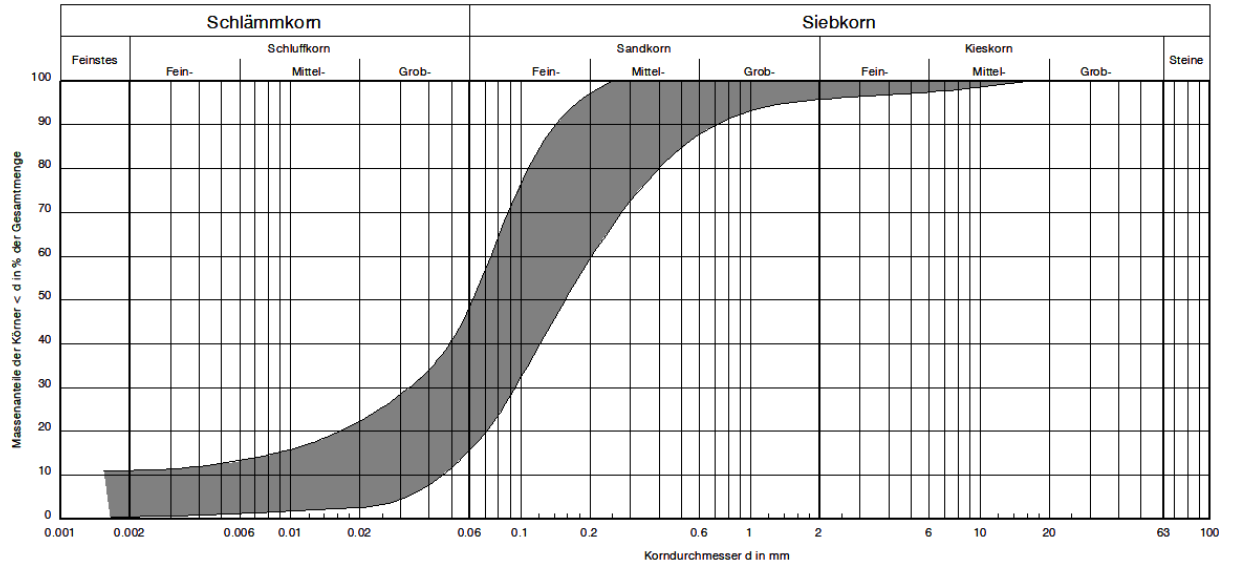


Abbildung 6: Körnungsband Sand, schluffig (Schicht SD10)

Kiessand, schluffig, locker und Kiessand, mind. mitteldicht (Schicht SD11 und SD12)

Die Kiessande sind der Bodengruppe GI und GU zuzuordnen, siehe Anlage 4.1 Blatt 6 und die Körnungsbänder in Abbildung 7 und Abbildung 8.

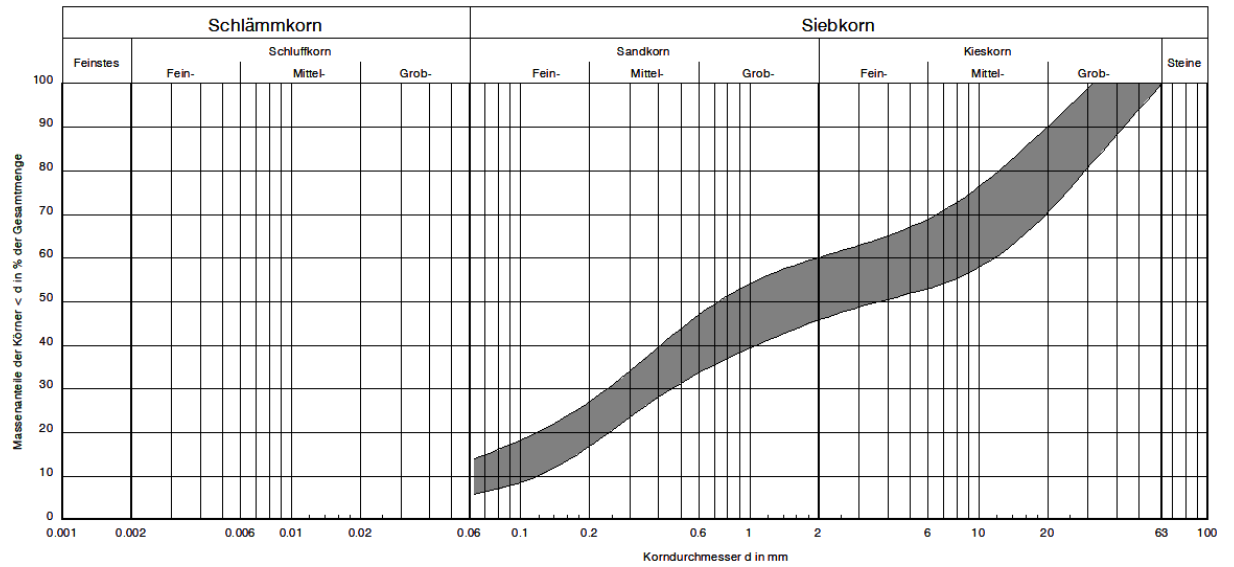


Abbildung 7: Körnungsband Kiessand, schluffig, locker (Schicht SD 11)

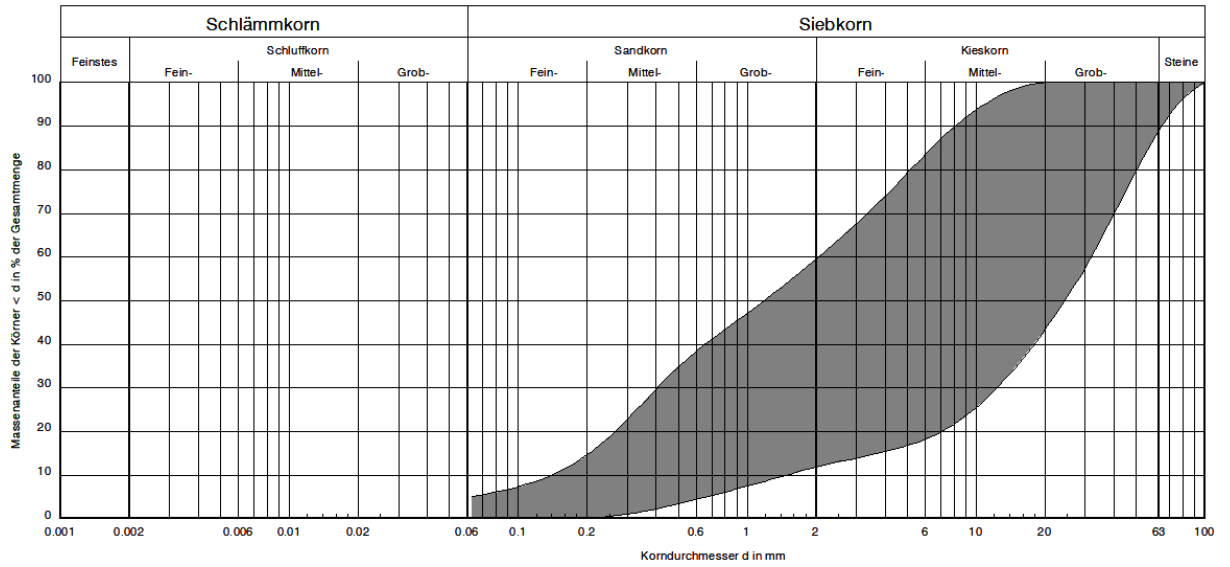


Abbildung 8: Körnungsband Kiessand, mind. mitteldicht (Schicht SD12)

Geschiebelehm (Schicht SD13, SD14 und SD24) und Geschiebemergel (Schicht SD15 und SD16)

Der Geschiebelehm (Anlage 4.1, Blatt 7 sowie Abbildung 9) ist überwiegend sandig ausgeprägt und weist i. d. R. einen geringeren Schluff- und Tonanteil als der Geschiebemergel (Anlage 4.1, Blatt 8 und Blatt 9 sowie Abbildung 10) auf. Geschiebelehm und Geschiebemergel können hauptsächlich der Bodengruppe SU* und teilweise den Bodengruppen SU, ST, ST* und UL zugeordnet werden.

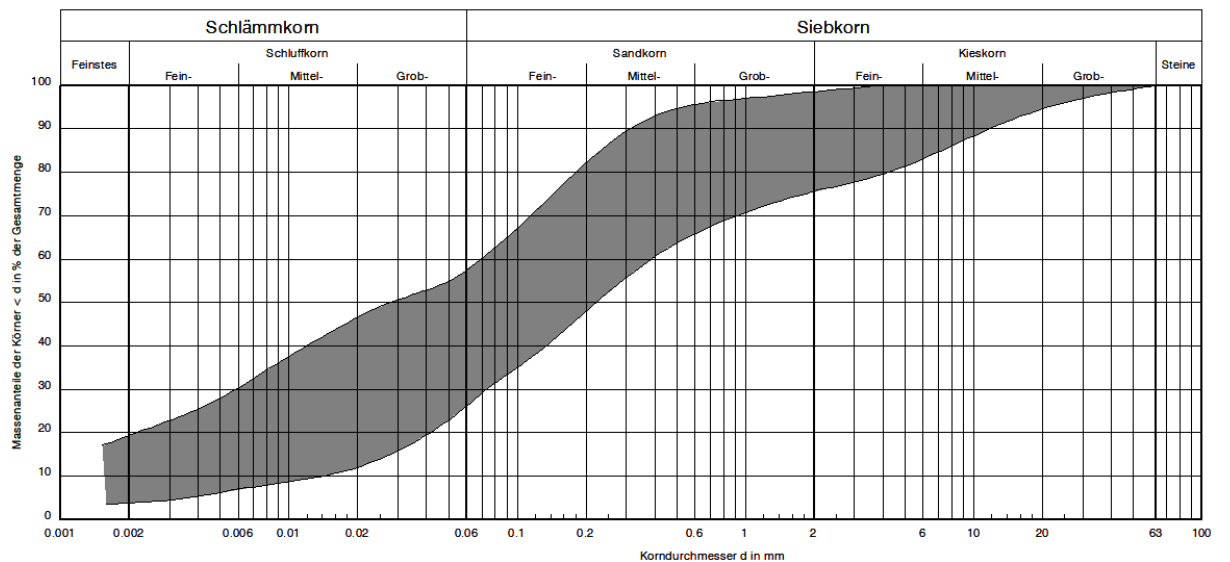


Abbildung 9: Körnungsband Geschiebelehm (Schicht SD13, SD14 und SD24)

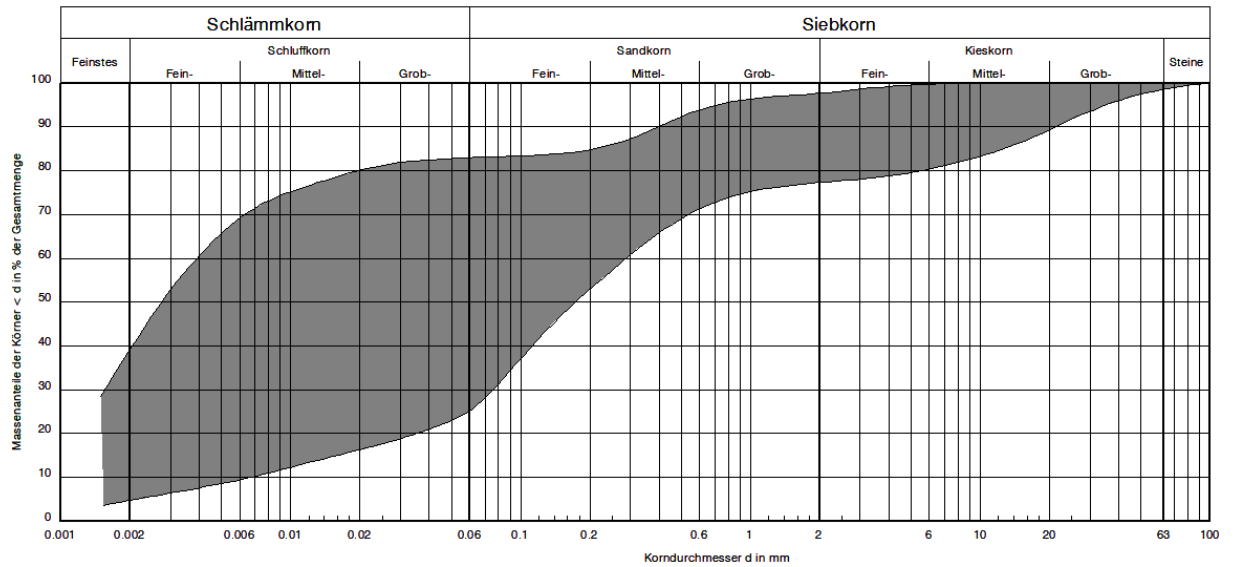


Abbildung 10: Körnungsband Geschiebemergel (Schicht SD15 und SD16)

Beckenschluff, sandig (Schicht SD18)

Die feinsandigen Beckenschluffe (Anlage 4.1, Blatt 10 bis Blatt 14) mit einem Tonanteil überwiegend bis 15 % und vereinzelt bis > 15 % sowie einem Sandanteil zwischen 7 % und 60 % den Boden-
gruppen UL, UM, SU*, ST und ST* zuzuordnen, siehe auch das Körnungsband in Abbildung 11.

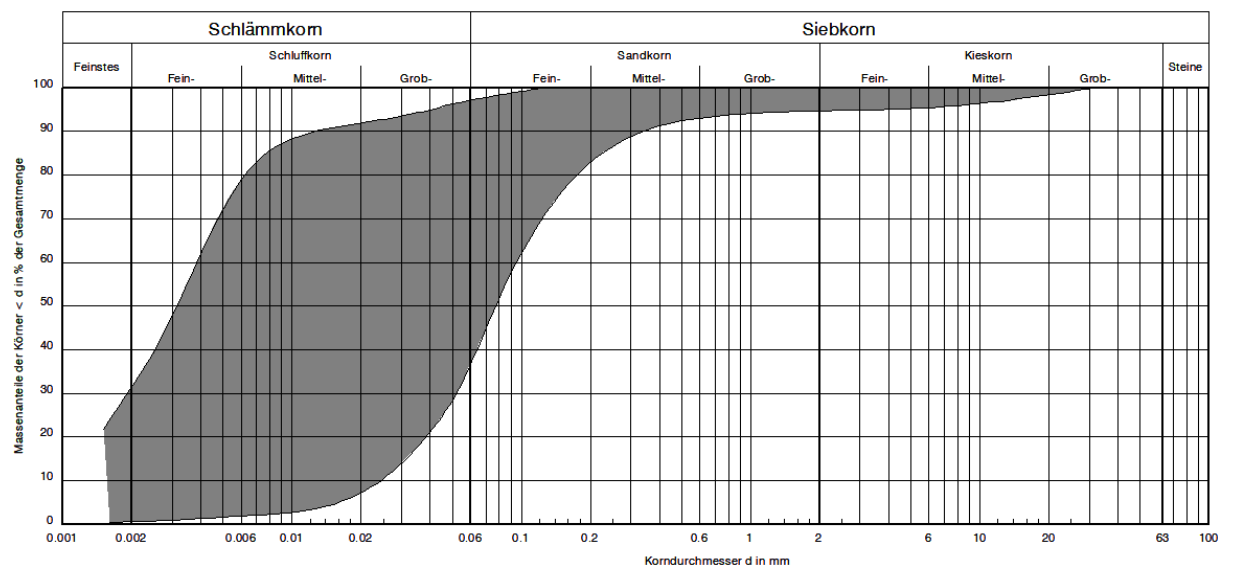


Abbildung 11: Körnungsband sandiger Beckenschluff (Schicht SD18)

4.5.3 Konsistenzgrenzen

Die Ergebnisse der Konsistenzgrenzenermittlung gem. DIN EN ISO 17892-12⁵ können der Anlage 4.2 entnommen werden. Untersucht wurden drei Proben des sandigen Beckenschluffs aus Tiefen von ca. +8,14 mNHN (B69) sowie ca. -3,57 mNHN und -4,47 mNHN (GWM06, BS50).

Beckenschluff, sandig (Schicht SD18)

Bei der Probe des feinsandigen Beckenschluffs aus der Bohrung B69 (+8,14 mNHN) wurde versuchs-technisch ein negativer Wert für die Plastizitätszahl I_p ermittelt. Die Klassifizierung der Probe hinsichtlich der plastischen Eigenschaften ist somit aufgrund des Feinsandanteils formal mit dem Plastizitätsdiagramm von CASAGRANDE nicht möglich und erfolgt daher auf Grundlage von Erfahrungen. Die Fließgrenze beträgt 20,9 % und die Konsistenz wurde mit den gemessenen Wassergehalten der Proben von 21,9 % als steif bestimmt.

Bei der Probe des feinsandigen Beckenschluffs aus der Bohrung GWM06 (-3,5 mNHN) handelt es sich hinsichtlich der plastischen Eigenschaften nach dem Plastizitätsdiagramm von CASAGRANDE um ein leicht plastisches Sand-Ton-Gemisch (ST). Versuchstechnisch wurde für diesen sandigen Beckenschluff die Plastizitätszahl mit 9,5 % und die Fließgrenze mit 28,0 % ermittelt.

Bei der Probe des feinsandigen Beckenschluffs aus der Kleinrammbohrung BS50 (-4,6 mNHN) handelt es sich hinsichtlich der plastischen Eigenschaften nach dem Plastizitätsdiagramm von CASAGRANDE um einen leicht plastischen Schluff (UL) an der Grenze zu einem Sand-Schluff-Gemisch (SU). Bei dieser Probe wurde versuchs-technisch die Plastizitätszahl mit 3,8 % und die Fließgrenze mit 22,0 % ermittelt.

Die Konsistenz des sandigen Beckenschluffs wurde in allen Fällen unter Berücksichtigung der Bodenansprache als steif bestimmt.

4.5.4 Kompressionsversuche

Es wurde 1 Kompressionsversuch an einer ungestörten Probe des dicht bzw. sehr dicht gelagerten Sandes (SD9), 1 Kompressionsversuch an einer ungestörten Probe des Geschiebelehms (SD14), 2 Kompressionsversuche an ungestörten Proben des mind. steifen Geschiebemergels (SD16) und 7 Kompressionsversuche an ungestörten Proben des sandigen Beckenschluffs (SD18) gem. DIN 18135⁶ durchgeführt. Die Ergebnisse sind der Anlage 4.3 zu entnehmen; eine Übersicht ist in den folgenden Tabellen dargestellt.

⁵ DIN EN ISO 17892-12: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 12: Bestimmung der Zustandsgrenzen

⁶ DIN 18135: Baugrund - Untersuchung von Bodenproben - Eindimensionaler Kompressionsversuch

Tabelle 4: Ergebnisse der Kompressionsversuche – Sand, dicht bzw. sehr dicht (Schicht SD9)

Bohrung Tiefe	Wasser- gehalt w	Steifemodul ¹⁾ E _s [MN/m ²]					
		Spannung [kN/m ²]					
[m u. GOK]	[%]	50	100	200	400	800	1600
B67 13,50 – 13,75	15,8	1. Belastung					
		6,9	16,9	21,6	45,2	87,5	106,1
		2. Belastung					
		–	55,3	52,4	86,5	–	–

¹⁾ Ermittlung als Tangentenmodul

Tabelle 5: Ergebnisse der Kompressionsversuche – Geschiebelehm, weich-steif bis steif (Schicht SD14)

Bohrung Tiefe	Wasser- gehalt w	Steifemodul ¹⁾ E _s [MN/m ²]					
		Spannung [kN/m ²]					
[m u. GOK]	[%]	50	100	200	400	800	1600
B60 2,25 – 2,50	13,4	1. Belastung					
		2,6	8,0	10,1	17,1	29,4	38,1
		2. Belastung					
		–	165,8	117,1	71,1	–	–

¹⁾ Ermittlung als Tangentenmodul

Tabelle 6: Ergebnisse der Kompressionsversuche – Geschiebemergel, mind. steif (Schicht SD16)

Bohrung Tiefe	Wasser- gehalt w	Steifemodul ¹⁾ E _s [MN/m ²]					
		Spannung [kN/m ²]					
[m u. GOK]	[%]	50	100	200	400	800	1600
B66 8,00 – 8,25	12,4	1. Belastung					
		3,5	3,5	7,1	10,7	28,3	49,8
		2. Belastung					
		–	163,3	61,2	44,5	–	–
GWM06 7,50 – 7,75	9,2	1. Belastung					
		4,6	8,7	14,2	23,8	47,7	61,5
		2. Belastung					
		–	–	– ²⁾	107,6	–	–

¹⁾ Ermittlung als Tangentenmodul

²⁾ Erst- / Wiederbelastung, Wert für Wiederbelastung wird wegen Messfehler nicht berücksichtigt

Tabelle 7: Ergebnisse der Kompressionsversuche – Beckenschluff, sandig (Schicht SD18)

Bohrung Tiefe	Wasser- gehalt w	Steifemodul ¹⁾ E _s [MN/m ²]					
		Spannung [kN/m ²]					
[m u. GOK]	[%]	50	100 ²⁾	200	400	800	1600
B69 13,00 – 13,25	19,5	1. Belastung					
		7,6	20,8	19,0	42,6	106,7	98,8
		2. Belastung					
		–	166,7	166,7	181,8	–	–
GWM08 13,00 – 14,00	18,9	1. Belastung					
		4,2	11,6	26,8	41,9	94,6	115,7
		2. Belastung					
		–	77,3	91,4	125,6	–	–
B72 5,00 – 6,00	19,5	1. Belastung					
		3,0	7,9	13,2	20,3	43,5	58,6
		2. Belastung					
		–	71,4	111,1	50,6	–	–
B74 3,00 – 4,00	22,8	1. Belastung					
		3,8	8,4	12,7	21,9	41,5	47,2
		2. Belastung					
		–	41,5	37,5	49,8	–	–
B78 11,00 – 12,00	19,2	1. Belastung					
		4,0	8,4	19,0	32,7	117	108,9
		2. Belastung					
		–	65,3	130,7	135,2	–	–
B79 13,75 – 14,00	21,0	1. Belastung					
		8,4	24,3	36,9	59,4	117,1	142,1
		2. Belastung					
		–	497,5	248,7	124,4	–	–
B84 13,00 – 14,00	24,9	1. Belastung					
		4,3	7,9	12,4	22,0	38,6	58,4
		2. Belastung					
		–	250,0	153,8	44,0	–	–

¹⁾ Ermittlung als Tangentenmodul

4.5.5 Direkte Scherversuche

Zur Bestimmung der Scherparameter Reibungswinkel φ' und Kohäsion c' der Böden wurden direkte Scherversuche an ungestörten Proben durchgeführt. Die Versuchsergebnisse sind Anlage 4.4 zu entnehmen.

Tabelle 8: Ergebnisse der Direkten Scherversuche – Sand, locker (Schicht SD7)

Bohrung Tiefe	Anfangs- wasser- gehalt	Normal- spannung	Scher- spannung	Reibungs- winkel	Kohäsion
	w	σ	τ	φ'	c'
[m u. GOK]	[%]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[°]	[kN/m ²]
B65 3,00 - 3,25	12,3	100	45,52	25,6	4,7
		200	114,56		
		300	141,14		
B75 2,00 – 2,50	7,8	100	62,63	30,2	3,0
		200	116,73		
		300	179,17		

Tabelle 9: Ergebnisse der Direkten Scherversuche – Sand, mitteldicht (Schicht SD8)

Bohrung Tiefe	Anfangs- wasser- gehalt	Normal- spannung	Scher- spannung	Reibungs- winkel	Kohäsion
	w	σ	τ	φ'	c'
[m u. GOK]	[%]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[°]	[kN/m ²]
B65 12,05 - 12,30	22,2	100	94,13	42,5	3,2
		200	187,89		
		300	277,42		

Tabelle 10: Ergebnisse der Direkten Scherversuche – Sand, schluffig (Schicht SD10)

Bohrung Tiefe	Anfangs- wasser- gehalt	Normal- spannung	Scher- spannung	Reibungs- winkel	Kohäsion
	w	σ	τ	φ'	c'
[m u. GOK]	[%]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[°]	[kN/m ²]
B68 7,99 – 8,24	11,2	100	56,90	26,1	7,7
		200	105,00		
		300	154,77		

Tabelle 11: Ergebnisse der Direkten Scherversuche – Geschiebemergel, mind. steif (Schicht SD16)

Bohrung Tiefe	Anfangs- wasser- gehalt	Normal- spannung	Scher- spannung	Reibungs- winkel	Kohäsion
	w	σ	τ	φ'	c'
[m u. GOK]	[%]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[°]	[kN/m ²]
GWM06 7,50 – 7,75	10,9	100	73,45	33,3	7,1
		200	137,02		
		300	204,83		
B59 8,15 – 8,40	11,4	100	61,83	30,7	3,7
		200	125,06		
		300	180,58		

Tabelle 12: Ergebnisse der Direkten Scherversuche – Beckenschluff, sandig (Schicht SD18)

Bohrung Tiefe	Anfangs- wasser- gehalt	Normal- spannung	Scher- spannung	Reibungs- winkel	Kohäsion
[m u. GOK]	w	σ	τ	φ'	c'
	[%]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[°]	[kN/m ²]
B74 2,00 – 3,00	22,8	100	52,88	26,7	3,8
		200	106,88		
		300	153,45		
B75 2,50 – 3,00	23,7	100	54,17	24,3	13,3
		200	112,19		
		300	144,45		
B75 11,00 – 12,00	20,8	100	47,27	24,2	4,6
		200	99,24		
		300	137,33		
B84 13,00 – 14,00	26,4	100	44,23	23,9	4,8
		200	102,88		
		300	132,73		

4.5.6 Einaxiale Druckversuche

Zur Bestimmung der undrÄnirten Scherfestigkeit c_u der bindigen Schichten wurden einaxiale Druckversuche gemÄß DIN 18136⁷ an ausgewÄhlten ungestörten Bodenproben durchgeföhrt. Die Ergebnisse sind in Anlage 4.5 dargestellt und in den folgenden Tabellen zusammengefasst.

Tabelle 13: Ergebnisse der einaxialen Druckversuche – Geschiebemergel, mind. steif (Schicht SD16)

Bohrung Tiefe	Wassergehalt	Druck- festigkeit	Bruch- stauchung	undrÄnirte Scherfestigkeit ¹⁾
[m u. GOK]	w	q_u	ϵ	c_u
	[%]	[kN/m ²]	[%]	[kN/m ²]
B62 15,00 – 15,25	12,0	145	8,37	72,5

¹⁾ $c_u = q_u / 2$

⁷ DIN 18136: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Einaxialer Druckversuch

Tabelle 14: Ergebnisse der einaxialen Druckversuche – Beckenschluff, sandig (Schicht SD18)

Bohrung Tiefe	Wassergehalt	Druck- festigkeit	Bruch- stauchung	undrÄnirte Scherfestigkeit ¹⁾
[m u. GOK]	w [%]	q _u [kN/m ²]	ε [%]	c _u [kN/m ²]
B72 5,00 – 6,00	19,5	174	7,32	87,0
B72 11,00 – 11,25	23,9	124	15,06	62,0
B78 11,00 – 12,00	19,2	125	3,28	62,5
B81 13,75 – 14,00	19,5	166	6,71	83,0

¹⁾ c_u = q_u / 2

4.6 Chemische Analysen des Bodens

4.6.1 Allgemeines

Für das Untersuchungsgebiet liegen keine Hinweise aus dem Altlastenhinweiskataster vor.

Der im Zuge der Baumaßnahme auszuhebende Boden ist hinsichtlich seiner Weiterverwendung bzw. Verbringung und Entsorgung i. W. auf Grundlage der LAGA-Einstufung bzw. Zuordnung („Z-Werte“) zu beurteilen.

Die Z-Werte gem. LAGA⁸ der Aushubböden führen zu folgenden Konsequenzen hinsichtlich des weitergehenden Einbaus dieser Böden:

- Einbauklasse Z 0: uneingeschränkter Einbau
- Einbauklasse Z 1.1: eingeschränkter offener Einbau
- Einbauklasse Z 1.2: eingeschränkter offener Einbau in hydrogeologisch günstigen Gebieten
- Einbauklasse Z 2: eingeschränkter Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen
- Einbauklasse > Z 2: Einbau in Deponien/Dekontamination des Bodens.

⁸ Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Teil 2: Technische Regeln für die Verwertung, 1.2 Bodenmaterial (TR Boden) – Stand: 5. November 2004

4.6.2 Untersuchungsergebnisse

Zur weiteren Untersuchung, ob mit erhöhten chemischen Belastungen des Bodenmaterials der Dammbauwerke unterhalb der Fahrbahnen zu rechnen ist, wurden 18 chemische Untersuchungen auf den Komplettumfang nach LAGA (Feststoff und Eluat) durchgeführt.

Für die Untersuchungen des Fahrbahnunterbaus bis 3,0 m wurden die zwei oberen Bodenhorizonte beprobt. Dabei wurden 11 Mischproben aus ca. 0,0 m – 1,5 m und 5 Mischproben aus dem tieferen Bodenhorizont bis 3,0 m untersucht. Die Beprobungspunkte wurden möglichst gleichmäßig auf die zwei Dammbauwerke und die Richtungsfahrbahnen verteilt.

Aus den Kleinrammbohrungen BS95 und BS99 (MP24 und MP23) wurde je eine Mischprobe aus der gesamten Auffüllung aus nur einem Aufschluss erzeugt, da hier ein besonderer Verdacht auf eine Verunreinigung des Bodens aufgrund der dort vorhandenen Aufschüttungen bestand. Die Kleinrammbohrung BS99 (MP23) liegt in der Altlastenverdachtsfläche gem. den Unterlagen U13 und U14. Darüber hinaus wurde auch eine Altablagerung im Bereich einer ehemaligen Kiesabbaufäche am östlichen Böschungsfuß mit den Mischproben MP18 bis MP20 untersucht.

Die Untersuchungsergebnisse sind in Anlage 5.1 dargestellt und in Tabelle 15 bis Tabelle 17 zusammengefasst.

Tabelle 15: Übersicht über die Ergebnisse der LAGA-Analytik, Dammbauwerk Nord

Probenbezeichnung	Tiefe [m u. GOK]	RiFa Aufschluss	Bodenart	Zuordnung gem. LAGA	maßgebende Parameter
MP1	0,2 – 1,50	Flensburg BS43, BS45, BS47	aufgefüllter Sand	Z0	-
MP2	1,4 – 3,00	Flensburg BS43, BS45, BS47	aufgefüllter Sand, schwach schluffig	Z0	-
MP3	0,40 – 1,50	Hamburg BS44, BS46, BS48	aufgefüllter Sand, schwach schluffig, Schluffbrocken	Z0	-
MP4	1,50 – 3,00	Hamburg BS44, BS46, BS48	aufgefüllter Sand, Geschiebelehm	Z2	Summe PAK
MP13	0,48 – 1,50	Hamburg, BW 603 BS49, BS50	aufgefüllter Sand	Z1.2	pH-Wert
MP14	0,20 – 1,50	Hamburg BS53a, BS54, BS55	aufgefüllter Sand	Z0	-

Tabelle 16: Übersicht über die Ergebnisse der LAGA-Analytik, Dammbauwerk Süd

Probenbezeichnung	Tiefe [m u. GOK]	RiFa Aufschluss	Bodenart	Zuordnung gem. LAGA	maßgebende Parameter
MP5	0,30 – 1,50	Flensburg BS56, BS60, BS63, BS67	aufgefüllter Sand	Z0	-
MP6	1,00 – 3,00	Flensburg BS56, BS60, BS63, BS67	aufgefüllter Sand, Schluffbrocken	Z0	-
MP7	0,50 – 1,50	Flensburg BS69, BS73, BS67, BS81	aufgefüllter Sand, schwach schluffig	Z0	-
MP8	0,15 – 1,50	Flensburg BS85, BS91, BS94, BS97	aufgefüllter Sand, schluffig	Z0	-
MP9	1,50 – 3,00	Flensburg BS85, BS91, BS94, BS97	aufgefüllter Sand	Z0	-
MP10	0,45 – 1,50	Flensburg BS103, BS106	aufgefüllter Sand	Z0	-
MP16	0,50 – 1,50	Hamburg BS78, BS82, BS83, BS87, BS89	aufgefüllter Sand, schwach schluffig	Z0	-
MP17	1,50 – 3,00	Hamburg BS78, BS82, BS83, BS87, BS89	aufgefüllter Sand	Z0	-
MP21	0,30 – 1,00	Hamburg BS92, BS96, BS98, BS100	aufgefüllter Sand	Z0	-
MP22	0,30 – 1,70	Hamburg BS104, BS105	aufgefüllter Sand, Schluffbrocken	Z0	-
MP23	0,00 – 5,00	Flensburg BS99	aufgefüllter Sand, schwach schluffig	> Z2	Summe PAK
MP24	0,00 – 4,20	Hamburg BS95	aufgefüllter Sand, schwach schluffig	Z1	TOC

Tabelle 17: Übersicht über die Ergebnisse der LAGA-Analytik, Altablagerung

Probenbezeichnung	Tiefe [m u. GOK]	RiFa Aufschluss	Bodenart	Zuordnung gem. LAGA	maßgebende Parameter
MP18	0,10 – 1,50	Flensburg, Aufschüttung	aufgefüllter Sand	Z1	TOC
MP19	0,10 – 1,50	Flensburg Aufschüttung	aufgefüllter Sand	Z1	TOC
MP20	0,10 – 1,50	Flensburg Aufschüttung	aufgefüllter Sand	Z1	TOC

Für das untersuchte Bodenmaterial beider Dammbauwerke zwischen ca. 0,0 m und 1,5 m u. GOK ergibt sich bei einer von 11 untersuchten Mischproben eine Zuordnungsklasse von Z1.2, wobei als maßgebender Parameter der pH-Wert hervorzuheben ist. Bei dem Bodenmaterial aus dem tieferen Horizont von ca. 1,5 m bis 3,0 m u. GOK wurde bei einer von fünf Mischproben eine Zuordnungsklasse von Z2 mit der Summe PAK als maßgebendem Parameter festgestellt.

In den beiden Mischproben der gesamten Auffüllung (MP23, MP24) ergeben sich die Zuordnungsklassen Z1 aufgrund des TOC-Werts (MP24) sowie > Z2 aufgrund der hohen Konzentration der Summe PAK (MP23). Der erhöhte PAK-Gehalt wurde im Bereich der Altlastenverdachtsfläche gem. den Unterlagen U13 und U14 festgestellt.

Für die drei Mischproben aus der Altablagerung ergibt sich eine Zuordnungsklasse von Z1 aufgrund des TOC-Werts.

4.7 Wasseranalytik

Aus den Grundwassermessstellen GWM06, GWM07 und GWM08 wurden drei Wasserproben entnommen und durch das Labor IUL, Strahlsund, auf beton- und stahlangreifende Inhaltsstoffe gem. DIN 4030⁹ bzw. DIN 50929¹⁰ untersucht. Die detaillierten Ergebnisse der Analysen sind der Anlage 5.2 zu entnehmen und in Tabelle 18 zusammengefasst.

⁹ DIN 4030-1: Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden, und Gase – Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte

¹⁰ DIN 50929-3: Korrosion der Metalle; Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung; Rohrleitungen und Bauteile in Böden und Wässern

Tabelle 18: Übersicht über die Analysenergebnisse auf Beton- und Stahlaggressivität

Entnahmestelle / zugehöriges Bau- werk	Betonaggressivität gem. DIN 4030	Stahlaggressivität gem. DIN 50929	
		Mulden- und Lochkor- rosionswahrschein- lichkeit	Flächenkorrosions- wahrscheinlichkeit
GWM06 / BW606	nicht betonangreifend	gering	sehr gering
GWM07 / BW602	nicht betonangreifend	gering	sehr gering
GWM08 / BW 601	nicht betonangreifend	gering	sehr gering

Weiterhin wurde eine Wasserprobe (GWM06) auf ausgewählte Parameter zur Beurteilung der Wasserqualität in Zusammenhang mit einer evtl. Ableitung von Baugrubenförderwasser in ein offenes Gewässer oder einen RW-Kanal untersucht. Die Analysenergebnisse sind der Anlage 5.2 zu entnehmen.

Bei einer Grundwasserabsenkungsmaßnahme kann es erforderlich werden den Gehalt an Schweb- und Schwimmstoffen (abfiltrierbare Stoffe) im Förderwasser durch geeignete Methoden zu verringern. Die folgenden Einleitparameter übersteigen die Bestimmungsgrenzen gem. der einschlägigen DIN-Normen:

Tabelle 19: Überschreitungen der Bestimmungsgrenzen der Wasser-Analyseergebnisse

Parameter	Einheit	Messwert	Bestimmungsgrenze
Eisen(III), gelöst	mg/l	0,29	0,25
Sulfat	mg/l	70,00	0,50
Kupfer	µg/l	2,70	1,00
Nickel	µg/l	1,30	1,00

Hinsichtlich einer Ableitung von Baugrubenförderwasser ist zu berücksichtigen, dass von der zuständigen Aufsichtsbehörde (Wasserbehörde Kreis Rendsburg-Eckernförde) in der Regel keine verbindlichen Grenzwerte für die Einleitung in Oberflächengewässer oder einen RW-Kanal festgelegt werden. Diese werden von Fall zu Fall, abhängig von den Einleitwerten, dem Ort der Einleitung und der Jahreszeit festgelegt.

Sofern eine Grundwasserabsenkung erforderlich wird, sind im Zuge der Erstellung der wasserrechtlichen Anträge die Einleitbedingungen mit der zuständigen Behörde rechtzeitig abzustimmen.

4.8 Asphalt

An 13 Asphaltproben wurden zur Beurteilung der Pechhaltigkeit PAK-Bestimmungen (Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe) mit Untersuchungsumfang gem. EPA (amerikanische Bundesumweltbehörde USEPA) durchgeführt. Die mit diesem Umfang analysierten 16 Einzelverbindungen können erfahrungsgemäß in guter Näherung stellvertretend für die weitaus größere Anzahl vorkommender Einzelsubstanzen zur Beurteilung herangezogen werden.

Die Untersuchungsergebnisse sind in Anlage 5.3 dargestellt und in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 20: Übersicht über die Ergebnisse der PAK-Analytik

Probenbezeichnung	RiFa Bau-km	PAK Gehalt [mg/kg]	Bezeichnung (RuVa-StB 01-2005) ¹¹
AP44+49+55	Hamburg 0-250 – 0+325	0,37	Ausbauasphalt
AP56+63	Flensburg 3+150 – 3+450	0,53	Ausbauasphalt
AP69+76	Flensburg 3+750 – 4+050	n. n.	Ausbauasphalt
AP85+94	Flensburg 4+380 – 4+680	14,70	Ausbauasphalt
AP43+51	Flensburg 0-250 – 0+010	n. n.	Ausbauasphalt
AP105	Hamburg 5+150	1,87	Ausbauasphalt
AP50	Gemeindestraße Dieksredder	2,13	Ausbauasphalt
AP103+106	Flensburg 5+000 – 5+150	0,37	Ausbauasphalt
AP83+92+100	Hamburg 4+320 – 4+950	0,27	Ausbauasphalt
AP69 ¹⁾	Gemeindestraße Rader Weg	23,50	Ausbauasphalt
AP84	westl. Rampe Überführung Kieler Straße	3,84	Ausbauasphalt
AP86	östl. Rampe Über- führung Kieler Straße	8,40	Ausbauasphalt

¹¹ Richtlinie für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer- / pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau, Ausgabe 2001, Fassung 2005

Probenbezeichnung	RiFa Bau-km	PAK Gehalt [mg/kg]	Bezeichnung (RuVa-StB 01-2005) ¹⁾
AP57	Gemeindestraße Rader Weg	0,74	Ausbauasphalt

¹⁾ aus Bohrung entnommene Probe

Die Asphaltproben sind nach RuVa-StB 01 als nicht pechhaltig und nicht belastet einzustufen. Der Asphalt kann somit für eine spätere Wiederverwertung vorgesehen werden. Ist dies aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht möglich, ist der Asphalt auf einer zugelassenen Deponie zu entsorgen.

5 Auswertung und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse

5.1 Charakteristische Bodenkenngrößen für geotechnische Berechnungen

Auf Grundlage der Baugrunderkundung sowie unserer Erfahrungen mit vergleichbaren Böden werden die in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellten charakteristischen Bodenkenngrößen angegeben.

Tabelle 21: charakteristische Bodenkenngrößen

Bodenschicht	Wichte	Scherparameter ¹⁾	undrÄnierte Kohäsion	Steifemodul ²⁾
	γ_k / γ'_k [kN/m ³]	φ'_k / c'_k [°] / [kN/m ²]	$c_{u,k}$ [kN/m ²]	$E_{s,k}$ [MN/m ²]
SD1: Mutterboden, org. Sand, schluffig, locker	16 / 8	22,5 / 2,5	k.A.	k.A.
SD2: Auffüllung: Sand, locker	17 / 9	32,5 / 0	-	≥ 5
SD3: Auffüllung: Sand, mitteldicht	19 / 11	35,0 / 0	-	40
SD4: Auffüllung: Sand, dicht bzw. sehr dicht	19 / 11	35,0 / 0	-	60
SD5: Auffüllung: Sand, schluffig	19 / 11	32,5 / 0	-	≥ 40
SD7: Sand, locker	18 / 10	32,5 / 0	-	≥ 30
SD8: Sand, mitteldicht	19 / 11	35,0 / 0	-	30-70
SD9: Sand, dicht bzw. sehr dicht	19 / 11	37,5 / 0	-	≥ 70
SD10: Sand, schluffig	19 / 11	32,5 / 0	-	≥ 40
SD11: Kiessand, schluffig, locker	18,5 / 10,5	35,0 / 0	-	10-30
SD12: Kiessand, mind. mitteldicht	19 / 11	37,5 / 0	-	≥ 50
SD13: Geschiebelehm, breiig bis weich	19 / 10	25,0 / 7,5	≥ 10	≥ 5
SD14: Geschiebelehm, weich-steif bis steif	20 / 10	27,5 / 10,0	≥ 40	≥ 15
SD15: Geschiebemergel, breiig bis weich-steif	21 / 11	30,0 / 7,5	≥ 20	≥ 10
SD16: Geschiebemergel, mind. steif	22 / 12	30,0 / 17,5	≥ 80	≥ 25
SD17: Beckenschluff, Beckenton	20 / 10	27,5 / 20,0	≥ 100	≥ 30
SD18: Beckenschluff, sandig	19 / 9	27,5 / 10,0	≥ 40	≥ 25

¹⁾ Es kann ein Erddruckneigungswinkel von $\delta_k \leq 2/3 \varphi'_k$ angesetzt werden.

²⁾ Bei Wiederbelastungsverhältnissen können die 3-fachen Werte angesetzt werden.

5.2 Charakteristische Grund- und Schichtwasserstände

Auf Grundlage der gemessenen Wasserstände werden die folgenden für die Bemessung anzusetzenden höchsten und niedrigsten charakteristischen Wasserstände (Bemessungswasserstände) für das Bestandsgelände mit Bezug auf den östlichen Dammfuß angegeben.

Tabelle 22: Bemessungswasserstände

Bereich	Höchster charakteristischer Grund-/Schichtwasserstand ¹⁾	Niedrigster charakteristischer Grund-/Schichtwasserstand
a) Dammbauwerk Nord		
von Bau-km 0-297 bis Bau-km 0+000	+12,5 mNHN	+7,0 mNHN
von Bau-km 0+000 bis Bau-km 0+350	+11,0 mNHN	+7,0 mNHN
b) Dammbauwerk Süd		
von Bau-km 3+250 bis Bau-km 3+650	+13,2 mNHN	+6,0 mNHN
von Bau-km 3+650 bis Bau-km 4+100	+13,5 mNHN	+7,0 mNHN
von Bau-km 4+100 bis Bau-km 4+600	+13,5 mNHN	+6,5 mNHN
Von Bau-km 4+600 bis Bau-km 5+150	+12,0 mNHN	+6,0 mNHN

¹⁾ Wenn die örtliche GOK niedriger als der angegebene Wasserstand ist, gilt das Niveau der GOK als höchster charakteristischer Wasserstand.

Für Grundbruch- sowie weitere Standsicherheitsberechnungen sind für die Bereiche der bestehenden Dammbauwerke die Einflüsse aus den geringdurchlässigen Bodenschichten in Höhe des ursprünglichen Geländeniveaus in geeigneter Weise zu berücksichtigen. Hier sind ggf. abweichende Wasserstände zu berücksichtigen.

5.3 Bodenklassifizierung und Homogenbereiche

Zur Beschreibung der leistungs- und verfahrenstechnischen Eigenschaften hinsichtlich der Bearbeitbarkeit des Baugrunds erfolgt in der Tabelle 10 eine Zuordnung der Schichten gem. Abschnitt 5.1 und unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus Unterlage U6, dort Anlage 7, in Homogenbereiche mit für das jeweilige Bauverfahren vergleichbaren Eigenschaften. Die für die einzelnen Schichten kennzeichnenden Parameter können der Anlage 7 zu diesem Bericht entnommen werden.

Tabelle 23: Zuordnung der Schichten in Homogenbereiche mit Bezug auf die Normen des Tiefbaus

Bodenschicht	I DIN 18300 Erdarbeiten
SD1: Mutterboden, org. Sand, schluffig, locker	
SD2: Auffüllung: Sand, locker	
SD3: Auffüllung: Sand, mitteldicht	
SD4: Auffüllung: Sand, dicht bzw. sehr dicht	
SD5: Auffüllung: Sand, schluffig	
SD7: Sand, locker	I A
SD8: Sand, mitteldicht	
SD9: Sand, dicht bzw. sehr dicht	
SD10: Sand, schluffig	
SD11: Kiessand, schluffig, locker	
SD12: Kiessand, mind. mitteldicht	
SD13: Geschiebelehm, breiig bis weich	
SD14: Geschiebelehm, weich-steif bis steif	I B
SD15: Geschiebemergel, breiig bis weich-steif	
SD16: Geschiebemergel, mind. steif	
SD17: Beckenschluff, Beckenton	I C
SD18: Beckenschluff, sandig	

Kempfert Geotechnik GmbH

ppa. 

Dr.-Ing. P. Becker

i. A. 

M.Sc. K. L. Moschick