



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,
Festlegung der charakteristischen Werte

BAB A7 – Ersatzneubau Rader Hochbrücke,
Streckengutachten von km 58,6 bis km 61,9,
Dammbauwerk Nord und Dammbauwerk Süd

bearbeitet im Auftrag der

DEGES

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

Hamburg, den 10.11.2017

Az.: HH 229.0/16

Berichtsstatus

Rev.	Datum	aufgestellt	geprüft	Änderungen
00	10.11.2017	gez. pb/ab	gez. hv	-

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Veranlassung.....	5
2 Unterlagen, Normen und Regelwerke.....	6
3 Bauvorhaben.....	7
3.1 Allgemeines.....	7
3.2 Dammbauwerk Nord.....	7
3.3 Dammbauwerk Süd.....	8
4 Geotechnischer Untersuchungsbericht.....	9
4.1 Untersuchungsgebiet.....	9
4.1.1 Topographie, Morphologie, Bewuchs.....	9
4.1.2 Geologische Situation.....	10
4.1.3 Hydrogeologische Situation.....	10
4.1.4 Altlasten und Altlastenverdachtsflächen.....	11
4.1.5 Schutzgebiete.....	11
4.2 Baugrundaufschlüsse.....	11
4.3 Baugrundbeschreibung.....	12
4.3.1 Allgemeines.....	12
4.3.2 Baugrundsichtung, Dammbauwerk Nord.....	12
4.3.3 Baugrundsichtung, Dammbauwerk Süd.....	14
4.3.4 Baugrundsichtung, Spülfeld.....	15
4.4 Grund- und Schichtwasser.....	16
4.5 Bodenmechanische Laborversuche.....	17
4.5.1 Wassergehalte und Glühverluste.....	17
4.5.2 Kornverteilungen.....	18
4.5.3 Konsistenzgrenzen.....	25
4.5.4 Einaxiale Druckversuche.....	28
4.5.5 Direkte Scherversuche.....	29
4.5.6 Kompressionsversuche.....	33

4.6	Chemische Analysen des Bodens.....	35
4.6.1	Allgemeines.....	35
4.6.2	Untersuchungsergebnisse.....	36
4.7	Wasseranalytik.....	39
4.8	Asphalt.....	40
5	Auswertung und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse.....	41
5.1	Charakteristische Bodenkenngrößen für geotechnische Berechnungen.....	41
5.2	Charakteristische Grund- und Schichtwasserstände.....	42
5.3	Bodenklassifizierung und Homogenbereiche.....	43

Anlagenverzeichnis

Anlage 1 Übersichtslageplan

Anlage 2 Lageplan der Untergrundaufschlüsse

Anlage 2.1 Lageplan der Untergrundaufschlüsse, Dammbauwerk Nord,
Bau-km 0+000 bis Bau-km 0+960

Anlage 2.2 Lageplan der Untergrundaufschlüsse, Dammbauwerk Süd
Bau-km 2+360 bis Bau-km 3+250

Anlage 2.3 Lageplan der Untergrundaufschlüsse, Spülfeld

Anlage 2.4 Koordinatentabelle der Untergrundaufschlüsse

Anlage 3 Ergebnisse der Untergrundaufschlüsse

Anlage 3.1 Dammbauwerk Nord, Blatt 1 (Bau-km 0+035 bis Bau-km 0+300)

Anlage 3.2 Dammbauwerk Nord, Blatt 2 (Bau-km 0+290 bis Bau-km 0+470)

Anlage 3.3 Dammbauwerk Nord, Blatt 3 (Bau-km 0+485 bis Bau-km 0+590)

Anlage 3.4 Dammbauwerk Nord, Blatt 4 (Bau-km 0+590 bis Bau-km 0+650)

Anlage 3.5 Dammbauwerk Nord, Blatt 5 (Bau-km 0+660 bis Bau-km 0+755)

Anlage 3.6 Dammbauwerk Nord, Blatt 6 (Bau-km 0+765 bis Bau-km 0+870)

Anlage 3.7 Dammbauwerk Nord, Blatt 7 (Bau-km 0+870 bis Bau-km 0+925)

Anlage 3.8 Dammbauwerk Nord, Blatt 8 (Bau-km 0+970 bis Bau-km 0+980)

Anlage 3.9 Dammbauwerk Süd, Blatt 1 (Bau-km 2+345 bis Bau-km 2+355)

Anlage 3.10 Dammbauwerk Süd, Blatt 2 (Bau-km 2+400 bis Bau-km 2+440)

Anlage 3.11 Dammbauwerk Süd, Blatt 3 (Bau-km 2+440 bis Bau-km 2+510)

Anlage 3.12 Dammbauwerk Süd, Blatt 4 (Bau-km 2+510 bis Bau-km 2+625)

Anlage 3.13 Dammbauwerk Süd, Blatt 5 (Bau-km 2+620 bis Bau-km 2+720)

Anlage 3.14 Dammbauwerk Süd, Blatt 6 (Bau-km 2+720 bis Bau-km 2+775)

- Anlage 3.15 Dammbauwerk Süd, Blatt 7 (Bau-km 2+810 bis Bau-km 2+925)
- Anlage 3.16 Dammbauwerk Süd, Blatt 8 (Bau-km 2+925 bis Bau-km 3+085)
- Anlage 3.17 Dammbauwerk Süd, Blatt 9 (Bau-km 3+125 bis Bau-km 3+185)
- Anlage 3.18 Spülfeld, Blatt 1 (Osten)
- Anlage 3.19 Spülfeld, Blatt 2 (Mitte)
- Anlage 3.20 Spülfeld, Blatt 3 (Westen)

- 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 LAGA Analytik, Boden (Spülfeld)
 - Anlage 5.3 PAK-Analytik, Asphalt
 - Anlage 5.4 Wasseranalytik, Beton- u. Stahlangriff

- Anlage 6 Ganglinien

- 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 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 unmittelbar südöstlich der bestehenden Straßenunterführung des Wirtschaftsweges (BW 606) und das Bauende kurz hinter der Straßenunterführung des Rader Wegs bei ca. km 61,9 vorgesehen. Die Baumaßnahme umfasst dabei:

- den Streckenbau für das Dammbauwerk Nord (Teilabschnittslänge ca. 900 m),
- den Streckenbau für das Dammbauwerk Süd (Teilabschnittslänge ca. 840 m),
- das Ingenieurbauwerk Rader Hochbrücke (BW 603) mit einer lichten Weite von ca. 1.500 m,
- das Ingenieurbauwerk Straßenunterführung der L 42 (BW 604) mit einer lichten Weite von ca. 20 m,
- Lärm- und Windschutzwände auf der Rader Hochbrücke sowie auf den Dammbauwerken.

Südlich des NOK, unmittelbar westlich der A7 zwischen Rader Weg und dem Weg „Trajektfähre“ befindet sich ein im Zuge der Verbreiterung des NOK entstandenes Spülfeld. Es ist vorgesehen, das Spülfeld „Trajektfähre“ zur Seitenentnahme des eingespülten Bodens bei entsprechender bau- und umwelttechnischer Eignung für die geplanten Erdbaumaßnahmen zu verwenden.

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 Planungsbereichen sowie im Bereich des Spülfeldes „Trajektfähre“ zu erkunden und zu untersuchen, den Baugrund vergleichend zu bewerten und Empfehlungen für die Gründung der geplanten baulichen Anlagen auszuarbeiten.

Zwischenzeitlich wurde der sechstreifige Ausbau für den Ersatzneubau der Rader Hochbrücke beschlossen und der Planungsbereich bis zur Anschlussstelle AS Rendsburg/Büdelndorf im Norden und bis zum Autobahnkreuz AK Rendsburg im Süden erweitert. Die Erweiterung des Planungsbereiches wird mit einer zusätzlichen Geotechnischen Untersuchung bewertet und ist nicht Gegenstand des vorliegenden Geotechnischen Berichts.

Der vorliegende Geotechnische Bericht (Band 1) - Streckengutachten – beinhaltet die Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen und die Festlegung der charakteristischen Werte für die Dammbauwerke 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 603 (Rader Hochbrücke), 604 (Straßenunterführung L42) sowie den auf den Dämmen 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 -550 bis 5+550, 02.11.2017
- U4 Erdbaulaboratorium Dr.-Ing. Karl Steinfeld, Hamburg, Bohrprofile Bundesautobahn Hamburg – Flensburg, 02.06.1967
- U5 Keller Grundbau GmbH, Bad Fallingbostal, Unterlagenkonvolut mit sämtlichen Aufschlussdaten einschl. Schichtenverzeichnisse und Bohrprofile von 58 Bohrungen und 43 Kleinrammbohrungen, Fotodokumentation der Bohrungen, 71 Drucksondierungen, 30 schweren Rammsondierungen, Ausbauprofile und Schichtenverzeichnisse der 5 Grundwassermessstellen, Lagekoordinaten und Höhenkoten der Aufschlusspunkte, überreicht auf CD-ROM mit Stand vom 06.09.2017
- U6 Technische Universität Hamburg-Harburg, Ergebnisse von drei direkten Scherversuchen (Spülfeld), 26.07.2017
- U7 Technische Universität Hamburg-Harburg, Ergebnisse von 8 Kompressionsversuchen, 20 Direkt-Scherversuchen und 3 Einaxialen Druckversuchen, 14.09.2017
- U8 GBA Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Pinneberg, Prüfberichte der 8 chemischen Analysen des Bodens nach LAGA (Dammbauwerk Nord und Süd), 13.03.2017 bis 07.04.2017
- U9 GBA Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Pinneberg, Prüfberichte der 12 chemischen Analysen des Bodens nach LAGA (Dammbauwerk Nord und Süd), 27.03.2017 bis 30.05.2017
- U10 GBA Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Pinneberg, Prüfberichte der chemischen Analysen des Bodens nach LAGA (Dammbauwerk Süd), 05.04.2017
- U11 GBA Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Pinneberg, Prüfberichte der Wasseranalytik auf Beton- und Stahlaggressivität von zwei Wasserproben, 05.07.2017
- U12 GBA Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Pinneberg, Prüfberichte von acht Asphaltproben (PAK-Bestimmung), 27.03.2017

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.

In Tabelle 1 erfolgt für den Untersuchungsbereich von Bau-km 0+000 bis Bau-km 3+260 des sechsstreifigen Ausbaus gem. Unterlage U3 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	
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

¹⁾ Bau-km gem. Unterlage U3

Das geplante Bauvorhaben umfasst neben dem Streckenausbau auch die Ingenieurbauwerke BW 604 der Straßenunterführung L 42 bei Bau-km 0+688 bis Bau-km 0+711 im Bereich des Dammbauwerks Nord sowie das BW 603 der Rader Hochbrücke im Bereich von Bau-km 0+912 bis Bau-km 2+412, 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 Dammbauwerk Nord

Die Gradienten des Dammbauwerks Nord verläuft im Untersuchungsbereich nach Unterlage U3 auf Höhen zwischen minimal 14,76 mNN, etwa in Bau-km 0+000 unmittelbar südlich von BW 606, und maximal 25,86 mNN, in Bau-km 0+912 im Bereich der Auflagerachse 10 des nördlichen Widerlagers von BW 603 (Rader Hochbrücke).

Die Längsneigung weist bis Bau-km 0+198 eine Steigung von 0,310 % und im Bereich von Bau-km 0+198 bis 0+741 eine Steigung von 1,091 % auf. Ab Bau-km 0+741 beträgt die Steigung 2,670 % und bleibt bis zum Hochpunkt der Rader Hochbrücke konstant.

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+000 ca. 11,1 mNN auf der östlichen bzw. ca. 10,58 mNN auf der westlichen Dammseite. Auf der westlichen Dammseite fällt das Gelände am Dammfuß bis auf 9,5 mNN bei Bau-km 0+700 bei BW 604 ab, steigt im weiteren Verlauf bis zum nördlichen Widerlager bei Bau-km 0+880 auf ca. 13,0 mNN und fällt dann am Ende des Widerlagerbereiches bis zum nördlichen Vorland der Borgstedter Enge bis auf ca. 4,0 mNN ab. Das Gelände im Bereich des östlichen Dammfußes fällt auf ca. 9,9 mNN bei Bau-km 0+300 und steigt dann auf ca. 13,3 mNN bei Bau-km 0+600 vor BW 604 an. Im weiteren Verlauf fällt das Gelände am östlichen Dammfuß auf ca. 7,0 mNN bei Bau-km 0+900 und weiter auf ca. 4,0 mNN im Bereich des nördlichen Vorlands der Borgstedter Enge 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+000 bis etwa km 0+912 auf einer Länge von rund 912 m in Dammlage mit Dammhöhen von ca. 4,2 m in Bau-km 0+000 bis ca. 18,9 m in Bau-km 0+912.

3.3 Dammbauwerk Süd

Im Bereich des Dammbauwerks Süd verläuft die Gradientenlinie im Untersuchungsbereich nach Unterlage U3 von Norden nach Süden auf Höhen zwischen maximal 45,7 mNN, etwa in Bau-km 2+412 im Bereich der Auflagerachse 170 des südlichen Widerlagers von BW 603 (Rader Hochbrücke), und minimal 24,8 mNN, etwa in Bau-km 3+223 südlich von BW 602.

Die Längsneigung weist von Norden nach Süden ein einheitliches Gefälle von 2,670 % auf.

Das bestehende Gelände auf der östlichen Seite des Dammfußes der BAB A7 verläuft im Untersuchungsbereich näherungsweise einheitlich auf einer Höhe von 15,9 mNN in Bau-km 2+412 bis 14,6 mNN in Bau-km 3+200.

Auf der westlichen Seite des Dammfußes steigt das Gelände von 14,6 mNN in Bau-km 2+412 im Bereich der Auflagerachse 170 des südlichen Widerlagers auf 22,4 mNN im Bereich des Spülfeldes von ca. Bau-km 2+600 bis Bau-km 3+020 an. Vor dem Bauwerk BW 602 fällt das Gelände auf ca. 14,2 mNN in Bau-km 3+200 bzw. 14,7 mNN in Bau-km 3+250 ab.

Aufgrund der Höhe des bestehenden Geländes in der Trassenachse und des Niveaus der Gradienten verläuft die Trasse vom südlichen Widerlager in Bau-km 2+412 bis etwa km 3+250 auf einer Länge von rund 838 m in Dammlage. Die Dammhöhen betragen ca. 29,8 m mit Bezug auf die östliche Seite des Dammfußes und ca. 31,1 m mit Bezug auf die westliche Seite des Dammfußes in Bau-km 2+412. Im Bereich des Spülfeldes auf der östlichen Seite beträgt die Dammhöhe ca. 18,3 m in Bau-km 0+600 und 7,9 m in Bau-km 3+000. Am Ende des Untersuchungsbereiches beträgt die Dammhöhe bei Bau-km 3+250 auf beiden Seiten ca. 10,0 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 Nord liegt im Anfangsbereich des Untersuchungsgebiets bei Bau-km 0+000 die Geländehöhe am Dammfuß westlich der A7 auf einem Niveau von ca. 10,6 mNN und steigt mit zunehmender Entfernung von der A7 auf bis zu 13,5 mNN an. Im Verlauf der Trasse Richtung Süden verläuft das Gelände im Bereich des Dammfußes auf einer Länge von ca. 600 m bis zur Landstraße L42 näherungsweise mit gleichbleibender Höhe von ca. 9,5 mNN bis 11,0 mNN. Südlich der L42 steigt das Gelände am Dammfuß bis auf eine Höhe von bis zu ca. 13,0 mNN an. Auf der Ostseite beträgt die Geländehöhe am Dammfuß ca. 11,1 mNN und fällt auf ca. 10,0 mNN mit zunehmender Entfernung von der A7 ab. Auf der Ostseite verläuft die Geländehöhe am Dammfuß der Trasse in Richtung L42 auf einer Höhe von ca. 10,0 mNN bis ca. 11,0 mNN. Bei Bau-km 0+500 steigt das Gelände noch vor der L42 auf eine Höhe von ca. 13,5 mNN an und fällt dann im Bereich von Bau-km 0+900 auf ca. 7,0 mNN ab. Der bestehende Straßendamm der vierstreifigen A7 weist ein Gradientenniveau von ca. 14,8 mNN bei Bau-km 0+000 auf, welches bis auf ca. 25,9 mNN bei Bau-km 0,912 ansteigt.

Beim Dammbauwerk Süd beträgt im Bereich des geplanten Widerlagers der Rader Hochbrücke bei Bau-km 2+412 die Geländehöhe ca. 14,6 mNN auf der Westseite und ca. 15,9 mNN auf der Ostseite. Das Gelände auf der Ostseite verläuft entlang des Dammfußes und in südlicher Richtung bis zum Ende des Untersuchungsgebietes bei Bau-km 3+250 näherungsweise mit gleichbleibender Höhe von ca. 15,0 mNN. Auf der Westseite des bestehenden Dammbauwerkes befindet sich das Spülfeld „Trakjektfähre“ im Bereich von ca. Bau-km 2+600 bis Bau-km 3+020. Die Geländehöhen betragen hier ca. 21,0 mNN bis 22,4 mNN. Im Bereich des Bauwerkes BW602 bei Bau-km 3+160 fällt das Gelände auf ca. 15,0 mNN ab. Der bestehende Straßendamm weist ein Gradientenniveau von ca. 45,7 mNN bei Bau-km 2+412 auf, welches bis auf ca. 24,8 mNN bei Bau-km 3,223 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, gem. Unterlage UX (hydrogeologische Übersichtskarte) 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 von Landwirtschaft 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 Untersuchungsgebiet 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*), Brennnesseln (*Urtica*) und weiteren Ruderalisierungsanzeigern zusammen. Vereinzelt sind Kiefer (*Pinus*) und Ahorn (*Acer*) anzutreffen.

4.1.2 Geologische Situation

Das Dammbauwerk Nord liegt im Bereich der Eisrandlage und wird von Bau-km 0+000 bis zum BW604 bei Bau-km 0+700 durch eine oberflächennahe Geschiebemergel- / Geschiebelehmsschicht mit einer Mächtigkeit von bis zu ca. 5 m geprägt. Südlich der L42 dominieren Schmelzwassersande und Kiessande. Im Liegenden der Schmelzwassersande stehen Beckenablagerungen, die z.B. beim BW604 eine Mächtigkeit von bis zu 6,5 m aufweisen können, sowie ältere Grundmoränenablagerungen und Sande an. Lokal (B55a, B54) wurden holozäne Ablagerungen (Torf, organischer Schluff, Mudde) im Hangenden des weichselzeitlichen Geschiebemergels angetroffen.

Im Bereich des Dammbauwerks Süd befindet sich NW-SE orientiert die Eisrandlage des Weichselvorstoßes. Die Böden am westlichen Dammfuß bestehen aus Schmelzwasserablagerungen, während am östlichen Dammfuß Geschiebelehm- und Beckenablagerungen anstehen. Am östlichen Dammfuß weisen die im Hangenden anstehenden Geschiebelehm- und Geschiebemergelhorizonte Mächtigkeiten von bis zu 2,5 m auf. Im Liegenden dominieren schluffigen Feinsande, welche in Wechsellagerung mit Beckenschluffen und Beckentonen, mit Mächtigkeiten von bis zu 9 m, anstehen.

Das Spülfeld Trajektfähre westlich des Dammbauwerks Süd ist mit den bei der Verbreiterung des NOK angefallenen Aushubböden im Spülverfahren aufgehöhht worden. Die eingespülten Böden sind durch Sande und schluffige Sande geprägt. Lagenweise wurden auch gemischtkörnige Böden (Geschiebelehm, Geschiebemergel und Sand-Schluff-Gemische) sowie Schluffe und Tone abgelagert.

4.1.3 Hydrogeologische Situation

Im Untersuchungsgebiet stehen im oberflächennahen Untergrund überwiegend pleistozäne Geschiebeböden 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 Geschiebeböden 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 Geschiebeböden (Grundwassergeringleiter) das Grundwasser an der Unterkante dieser Schichten i. d. Regel gespannt ansteht.

Auf den vielfach oberflächennah anstehenden Geschiebeböden 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 findet ein Grundwasserabstrom von Norden nach Süden in Richtung Borgstedter Enge statt. Im Bereich des Dammbauwerks 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 Untersuchungsbereich sind gem. Unterlage U1, dort Anlagen 12 und 13, keine Altlasten und Altlastenverdachtsflächen bekannt.

4.1.5 Schutzgebiete

Nach der Karte der Schutzgebiete des Bundesamtes für Naturschutz (Unterlage U1, dort Anlage 14,) grenzt das Dammbauwerk Nord unmittelbar an den Naturpark Hüttener Berge.

4.2 Baugrundaufschlüsse

Der Baugrundaufbau wurde zwischen Februar und Juli 2017 mit 38 Bohrungen, 43 Kleinrammbohrungen, 37 Spitzendrucksondierungen und 30 schweren Rammsondierungen erkundet. Zur Entnahme von Wasserproben aus dem Grundwasserhorizont und zur langfristigen Aufzeichnung der Wasserstände mithilfe von Datenloggern wurden drei Bohrungen (GWM01, GWM04 und GWM05) zu Grundwassermessstellen ausgebaut. Die Aufschlüsse wurden von der Firma Keller Grundbau GmbH, Hannover, mit Unterstützung durch die Firmen Knut Rösch Baugrunduntersuchungen GmbH, Norderstedt, sowie Ivers Brunnenbau GmbH, Osterrönfeld, ausgeführt und zusätzlich durch unser Büro begleitet und überwacht.

Die Bohrungen wurden bis in eine Tiefe zwischen 16 m u. GOK und 47 m u. GOK, entsprechend maximal –37,6 mNN (B43) ausgeführt. Die Kleinrammbohrungen wurden mit einer planmäßigen Tiefe von 8 m u. GOK (Spülfeld), 10 m – 15 m u. GOK (Dammbauwerke) und 16 m u. GOK (Dammfuß) vorgesehen. Die tatsächlichen Erkundungstiefen der Kleinrammbohrungen auf den Dammbauwerken waren, aufgrund der z.T. hohen Lagerungsdichten bzw. auch infolge von Hindernissen, z.T. auch geringer. Die Drucksondierungen wurden generell bis zur Auslastung des Geräts ausgeführt, wobei Tiefen von max. –23,0 mNN erreicht wurden. Abweichend hiervon wurden die Drucksondierungen am östlichen Dammfuß auf eine Tiefe von ca. 20 m u. GOK (ca. –5 mNN Dammbauwerk Süd / ca. –9 mNN Dammbauwerk Nord) begrenzt.

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

Die Lage der Baugrundaufschlüsse kann den Anlagen 2.1 bis 2.3 entnommen werden.

Die Ergebnisse der Aufschlüsse sind im Maßstab 1:100 höhengerecht in den Anlagen 3.1 bis 3.20 gemäß DIN 4023¹ aufgetragen. Hierbei sind auch die o.g. Altaufschlüsse dargestellt.

Anmerkung:

Die Ansatzhöhen der Altaufschlüsse entsprechen i.d.R. nicht den aktuellen Geländehöhen, da die Ansatzpunkte zum großen Teil im Bereich der Bestandsbauwerke liegen.

4.3 Baugrundbeschreibung

4.3.1 Allgemeines

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

4.3.2 Baugrundsichtung, Dammbauwerk Nord

Mutterboden / Auffüllung

Mit den Bohrungen B46 bis B55a, GWM05, GWM04, B45 und B43 wurde Mutterboden ab der Geländeoberkante angetroffen. 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 liegt zwischen 0,1 m und 1,2 m, bzw. im Mittel ca. 0,6 m.

Unterhalb der Oberflächenbefestigung (Asphalt, teilweise Beton) stehen die aufgefüllten Sande und schluffigen Sande des Dammbauwerkes an. Die Mächtigkeit dieser Auffüllungen entspricht etwa der Dammhöhe am jeweiligen Aufschlusspunkt. Kornanalytisch handelt es sich hauptsächlich um Fein- und Mittelsande, welche meist schwach schluffig und teilweise schwach grobsandig und schwach kiesig ausgeprägt sind. Vereinzelt wurden Geschiebelehmbänder erkundet. Die Lagerungsdichte kann anhand der schweren Rammsondierungen i.d.R. als mitteldicht und dicht angegeben werden. Ausnahmen mit einer nur lockeren Lagerungsdichte wurden mit den schweren Rammsondierungen DPH20, DPH21, DPH22, DPH23 und DS49 festgestellt.

Mit den Aufschlüssen B55a, B53, B48, und GWM04 wurden am östlichen Bestandsdammfuß unterhalb des Mutterbodens ebenfalls sandige und schluffige Auffüllungen angetroffen. Die Mächtigkeit beträgt ca. 1,0 m.

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

Gewachsene Sande

Im Hangenden und Liegenden der Geschiebelehm- und Geschiebemergelhorizonte wurden bis zu 23 m mächtige gewachsene Sande erkundet, die meist bis zur Endteufe nicht durchörtert wurden. Kornanalytisch handelt es sich hauptsächlich um feinsandige, grobsandige und schwach kiesige Mittelsande, teilweise auch um mittelsandige und kiesige Grobsande oder um schwach schluffige bis schluffige Feinsande. Vereinzelt wurden humose Bänder bzw. Lagen und Holzkohlereste erkundet. Die gewachsenen Sande sind auf Grundlage der Ergebnisse der Drucksondierungen und schweren Rammsondierungen mitteldicht, bzw. z.T. auch als locker und dicht gelagert zu bezeichnen.

Geschiebelehm / Geschiebemergel

Ab einem Niveau zwischen +6,8 mNN (BS01) und +12,0 mNN (GWM05) steht, teilweise im Liegenden und teilweise im Hangenden der gewachsenen Sande, ein Geschiebelehm- / Geschiebemergelhorizont an. Im Bereich der Aufschlüsse B46, GWM04 und B43 am Kopf des Dammbauwerkes (südlicher Dammfuß) liegt das Niveau der Schichtoberkante bei ca. +1,0 mNN. Die Mächtigkeit dieses Horizonts beträgt überwiegend etwa 1 m bis 3 m. Kornanalytisch ist der Geschiebelehm / -mergel überwiegend als schluffiger, schwach toniger und schwach kiesiger Sand anzusprechen. Die Konsistenz des Geschiebelehms / -mergels wurde überwiegend mit weich und weich-steif, teilweise auch mit breiig, breiig-weich, steif und halbfest angesprochen. Der Wassergehalt wurde mit 9 % bis 26 % festgestellt.

Weitere Geschiebemergelhorizonte wurden in Wechsellagerung mit Sanden und Kiesen mit den Aufschlüssen B51, GWM05, GWM04 und B43 auf einem Niveau (OK Schicht) zwischen –2,7 mNN (B51) und –15,6 mNN (B43) erkundet. Kornanalytisch ist der Geschiebemergel überwiegend als stark schluffiger, toniger und schwach kiesiger Sand anzusprechen. Die Konsistenz des Geschiebemergels wurde überwiegend mit steif und steif-halbfest, teilweise mit weich-steif und halbfest angesprochen. Der Wassergehalt wurde mit 8 % bis 16 % festgestellt.

Gewachsene Kiese

Unterhalb des Geschiebelehms und -mergels bzw. eingeschaltet in die gewachsenen Sande wurden in unterschiedlichen Mächtigkeiten und Höhenlagen vielfach Kieshorizonte und schluffige Kieshorizonte erkundet. Die Mächtigkeiten variieren zwischen 1 m (B52) und 5 m (B50). Kornanalytisch handelt es sich um Sand-Kies-Gemische, welche z.T. steinig und schluffig ausgeprägt sind. Die Lagerungsdichte der Kiessande ist auf Grundlage der Ergebnisse der Drucksondierungen und schweren Rammsondierungen überwiegend als dicht, teilweise auch sehr dicht, mitteldicht und locker-mitteldicht zu bezeichnen. Die schluffigen Kiessande weisen teilweise eine breiige Konsistenz auf.

Beckenablagerungen

Mit den Aufschlüssen B55a, B53 und GWM05 wurden Beckenablagerungen (schwach schluffige bis stark schluffige Feinsande, feinsandige, tonige Schluffe sowie schluffige Tone) ab einem Niveau zwischen –0,8 mNN (B55a) und –13,2 mNN (GWM05) erkundet. Die Mächtigkeit dieser Schichten beträgt 2,8 m (B55a) bzw. ca. 6,5 m (GWM05). Die Konsistenz wurde mit steif und weich-steif angesprochen.

Mudde

Mit den Aufschlüssen B55a, GWM05 und B47 wurde Mudde (stark organischer, sandiger Schluff / stark organischer Sand) mit einer Mächtigkeit zwischen 0,3 m (B47) und 0,4 m (GWM05) ab einem Niveau zwischen –6,9 mNN (B47) und –10,0 mNN (B55a) erkundet. Die Konsistenz wurde mit weich angesprochen.

Torf

Mit den Aufschlüssen B55a und B52 wurde stark zersetzter Torf unterhalb der Auffüllung bzw. unterhalb des Mutterbodens mit einer Mächtigkeit zwischen 0,3 m (B47) und 0,4 m (GWM05) erkundet. Der Wassergehalt wurde mit 95,3 % und der Glühverlust wurde mit 19,1 % ermittelt.

4.3.3 Baugrundsichtung, Dammbauwerk Süd

Mutterboden / Auffüllung

Mit den Bohrungen B22, B23, B20, B16, B15, B13, B11, B10 und B08 wurde Mutterboden ab der Geländeoberkante angetroffen. Mit den Bohrungen B15 und B12 wurde alter Mutterboden unterhalb des Dammbauwerkes angetroffen. 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 liegt zwischen 0,1 m (B13) und 1,0 m (B15).

Unterhalb der Oberflächenbefestigung (Asphalt, teilweise Beton) stehen die aufgefüllten Sande und schluffigen Sande des Dammbauwerkes an. Die Mächtigkeit dieser Auffüllungen entspricht etwa der Dammhöhe am jeweiligen Aufschlusspunkt. Kornanalytisch handelt es sich hauptsächlich um Fein- und Mittelsande, welche meist schwach schluffig und teilweise schluffig bis stark schluffig, schwach grobsandig und schwach kiesig ausgeprägt sind. Vereinzelt wurden Geschiebelehmbänder erkundet. Die Lagerungsdichte kann anhand der schweren Rammsondierungen und Drucksondierungen i.d.R. als mitteldicht, dicht und teilweise sehr dicht angegeben werden. Ausnahmen mit einer nur lockeren Lagerungsdichte wurden mit den Drucksondierungen und schweren Rammsondierungen DS20, DS17, DS16, DPH11, DS11, DPH5, DS09, DS05 und DPH30 indirekt nachgewiesen.

Mit den Aufschlüssen B22, B23, B18, B14 und BS42 wurden am östlichen Bestandsdammfuß unterhalb des Mutterbodens ebenfalls sandige Auffüllungen angetroffen. Die Mächtigkeit beträgt etwa 1,1 m.

Geschiebelem / Geschiebemergel

Ab einem Niveau zwischen +13,3 mNN (B08) und +15,7 mNN (B23) wurde unterhalb der Auffüllungen bzw. unterhalb einer geringmächtigen Schicht gewachsener Sande Geschiebelem- / Geschiebemergel mit den Aufschlüssen B23, B16, B15, B08 und B07 angetroffen. Die Mächtigkeit beträgt im Mittel etwa 1,3 m. Kornanalytisch ist der Geschiebelem / -mergel überwiegend als schluffiger bis stark schluffiger, schwach toniger und schwach kiesiger Sand anzusprechen. Die Konsistenz des Geschiebelehms / -mergels wurde breiig bis weich-steif angesprochen. Der Wassergehalt wurde mit 12 % bis 15 % festgestellt.

Gewachsene Sande

In Wechsellagerung mit den Beckenablagerungen wurden unterhalb des Mutterbodens / der Auffüllungen bzw. des Geschiebelehms /- mergel 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 Feinsande und nur vereinzelt um Grobsande und Mittelsande. Vereinzelt wurden in den schluffigen Feinsanden Mergelsteine und 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.

Beckenablagerungen

In Wechsellagerung mit den gewachsenen Sanden wurden Beckenablagerungen (stark schluffige Feinsande, sowie feinsandige, tonige Schluffe und schluffige Tone) ab einem Niveau zwischen +16,0 mNN (B20, B18) und +9,0 mNN (B19) erkundet. Die Konsistenz wurde mit breiig bis steif angesprochen. Der Wassergehalt wurde mit 15 % bis 28 % festgestellt.

Gewachsene Kiese

Eingeschaltet in die gewachsenen Sande wurden mit den Bohrungen B23 (- 16,9 mNN) und B10 (+12,1 mNN) jeweils ein etwa 1,0 m bzw. 2,0 m mächtiger Kieshorizont erkundet. Kornanalytisch handelt es sich hierbei um Sand-Kies-Gemische. Die Ergebnisse der Drucksondierung DS06b weisen auf eine mitteldichte bis dichte Lagerung der Kiessande hin.

4.3.4 Baugrundsichtung, Spülfeld

Mutterboden

Mit den Bohrungen (B01 bis B05) und Kleinrammbohrungen (BS05 bis BS18 und BS20) wurde Mutterboden mit einer Mächtigkeit von 0,3 m bis 0,7 m bzw. im Mittel etwa 0,4 m ab der Geländeoberkante angetroffen. Kornanalytisch handelt es sich um Fein- und Mittelsande, um schluffige bis stark schluffige Feinsande, welche z.T. grobsandige sowie kiesige Bestandteile aufweisen sowie vereinzelt auch um tonige Schluffe. Der Mutterboden weist humose bis stark humose Bestandteile auf.

Spülmateriale

Die Mächtigkeiten der Auffüllungen inklusive des alten überschütteten Mutterbodens betragen mindestens 5 m bzw. wurden mit den Aufschlüssen nicht durchteuft. Mit den Aufschlüssen BS06, BS07, BS14, BS15, BS20 und B04 wurden ausschließlich Sande erkundet, während mit den Aufschlüssen BS05, BS09, BS12, BS17, BS18, B03 und B05 vereinzelt bindige Auffüllungen erkundet wurden. Mit den Aufschlüssen BS08, BS11 und B01 wurden überwiegend bindige Auffüllungen (z.T. mit einer weichen Konsistenz) mit nur vereinzelt sandigen Horizonten erkundet. Mit den Aufschlüssen BS10, BS13, BS16, BS19 und B02 wurden ausschließlich bindige Schichten angetroffen.

Gewachsener Boden

Der gewachsene Boden wurde zwischen +10,8 mNN und +14,6 mNN bzw. im Mittel ab einem Niveau von etwa +12,7 mNN angetroffen. Es handelt sich bei dem gewachsenen Boden um Sande, Beckenschluffe und Geschiebemergel.

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 1 sind die während der Bohrarbeiten eingemessenen Ruhewasserstände entlang der Trasse für die Dammbauwerke zusammengestellt. Die am (östlichen) Dammfuß eingemessenen Ruhewasserstände sind mit blauen Kreissymbolen zusammen mit den korrespondierenden Ansatzhöhen des Bestandsgeländes dargestellt. Die im Bereich der bestehenden Dammbauwerke eingemessenen Ruhewasserstände sind mit blauen Quadraten symbolisiert. Die Geländehöhe der Bestandsgradienten entspricht näherungsweise der geplanten Gradienten gem. Unterlage U3. Zusätzlich sind mit violetten Kreissymbolen die Pegelmessungen von drei Grundwassermessstellen eingetragen. Die Ganglinien der Pegel sind in Anlage 6 zusammengestellt.

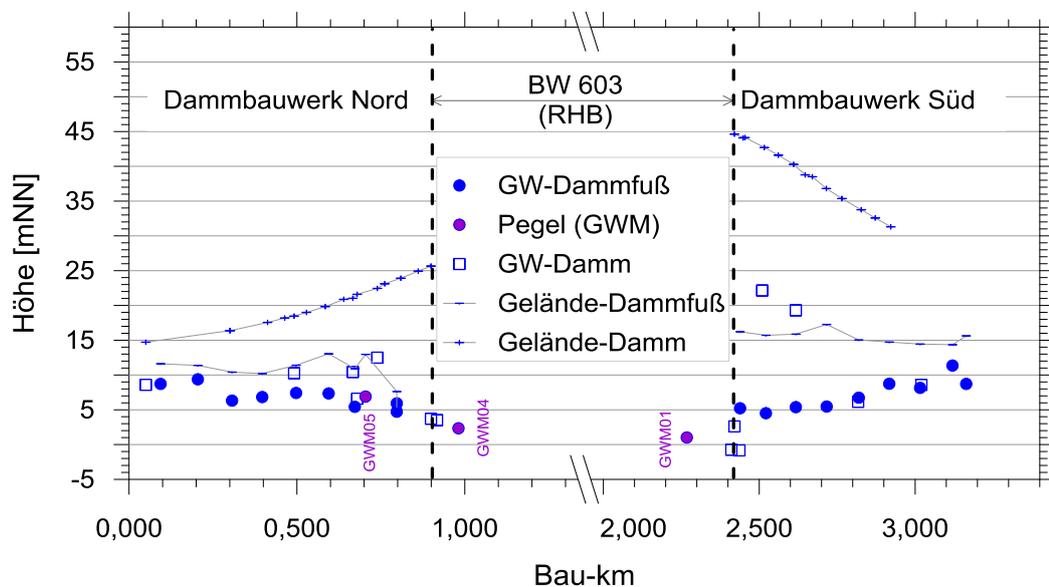


Abbildung 1: Grundwasserstände (Pegel) sowie bei den Bohrarbeiten eingemessene Ruhewasserstände entlang Trasse

Es ist festzustellen, dass sich im Bereich des Dammbauwerks Nord auf der östlichen Dammseite Grund- und Schichtwasserstände einstellen, die in Bau-km 0+000 etwa +9,4 mNN betragen und in südliche Richtung auf etwa +4,7 mNN in Bau-km 0+800 abfallen. Im weiteren Verlauf in Richtung Borgstedter Enge fällt der Grundwasserstand auf +2,3 mNN (GWM04) ab. Im Dammbauwerk selbst wurden Schichtwasserstände im Bereich von Bau-km 0+500 bis Bau-km 0+740 von +10,3 mNN bis +12,5 mNN gemessen, die auf gering durchlässige Geschiebeböden im Untergrund zurückzuführen sind.

Im Bereich des Dammbauwerks Süd wurden auf der Ostseite im Bereich von Bau-km 3+120 bis Bau-km 3+165 Grundwasserstände von +8,7 mNN bis +11,4 mNN gemessen. In Richtung Norden fällt der Grundwasserstand kontinuierlich zum NOK auf etwa +4,5 mNN bei Bau-km 2+520 ab. Im südlichen Vorland der Rader Hochbrücke wurde mit dem Pegel GWM01 ein Grundwasserstand von

etwa +1,0 mNN gemessen. Im Bereich des Dammbauwerks selbst wurden im Bereich von Bau-km 2+500 bis Bau-km 2+620 Schichtwasserstände von etwa +19,3 mNN bis +22,2 mNN eingemessen.

Im Bereich des Spülfeldes Trajektfähre wurden von Bau-km 2+600 bis Bau-km 3+020 Stauwasserstände von etwa 1,0 m bis 5,0 m u. GOK bzw. +14,0 mNN bis +19,0 mNN innerhalb der Auffüllung eingemessen. Diese Stauwasserstände korrespondieren mit den Stauwasserständen innerhalb des Dammbauwerks im Bereich von Bau-km 2+500 bis Bau-km 2+620 und sind auf die gering durchlässigen Geschiebeböden im Baugrund zurückzuführen.

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 und Glühverluste

Zur vergleichenden Bewertung und zur Bestimmung der Bodenkennwerte wurden Wassergehalte gemäß DIN 18121-1² und Glühverluste gemäß DIN 18128³ 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 2 dargestellt.

Tabelle 2: Übersicht über die Wassergehalte und Glühverluste ausgewählter Proben

Bodenart	Wassergehalte w [%]			Glühverluste v _{gl} [%]		
	Min.	Mittelw.	Max.	Min.	Mittelw.	Max.
SD7 Sand, locker w: 0 Versuche v _{gl} : 1 Versuch	-	-	-	-	1,8	-
SD13 Geschiebelehm, breiig bis weich w: 6 Versuche v _{gl} : 0 Versuche	12,0	16,1	25,6	-	-	-
SD14 Geschiebelehm, weich-steif bis steif w: 3 Versuche v _{gl} : 0 Versuche	12,9	14,1	15,2	-	-	-
SD15 Geschiebemergel, breiig bis weich-steif w: 9 Versuche v _{gl} : 0 Versuche	9,1	11,0	14,0	-	-	-
SD16 Geschiebemergel, mind. steif w: 5 Versuche v _{gl} : 0 Versuche	8,5	10,2	11,9	-	-	-

² DIN 18121-1: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Wassergehalt - Teil 1: Bestimmung durch Ofentrocknung

³ DIN 18128: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung des Glühverlustes

Bodenart	Wassergehalte w [%]			Glühverluste v _{gl} [%]		
	Min.	Mittelw.	Max.	Min.	Mittelw.	Max.
SD17 Beckenschluff, Beckenton w: 11 Versuche v _{gl} : 0 Versuche	16,6	24,7	29,4	-	-	-
SD18 Beckenschluff, sandig w: 17 Versuche v _{gl} : 2 Versuche	15,2	18,8	25,3	1,5	2,2	2,8
SD19 Torf w: 1 Versuch v _{gl} : 1 Versuch	-	95,3	-	-	19,1	-
SD23 Schluff / Ton (Spülfeld) w: 3 Versuche v _{gl} : 0 Versuche	31,7	35,8	39,7	-	-	-

Die Einzelergebnisse der Wassergehalts- und Glühverlustbestimmungen können den Bohrprofilen der Anlagen 3.1 bis 3.20 entnommen werden und sind in Abb. 2 höhengerecht zusammengestellt.

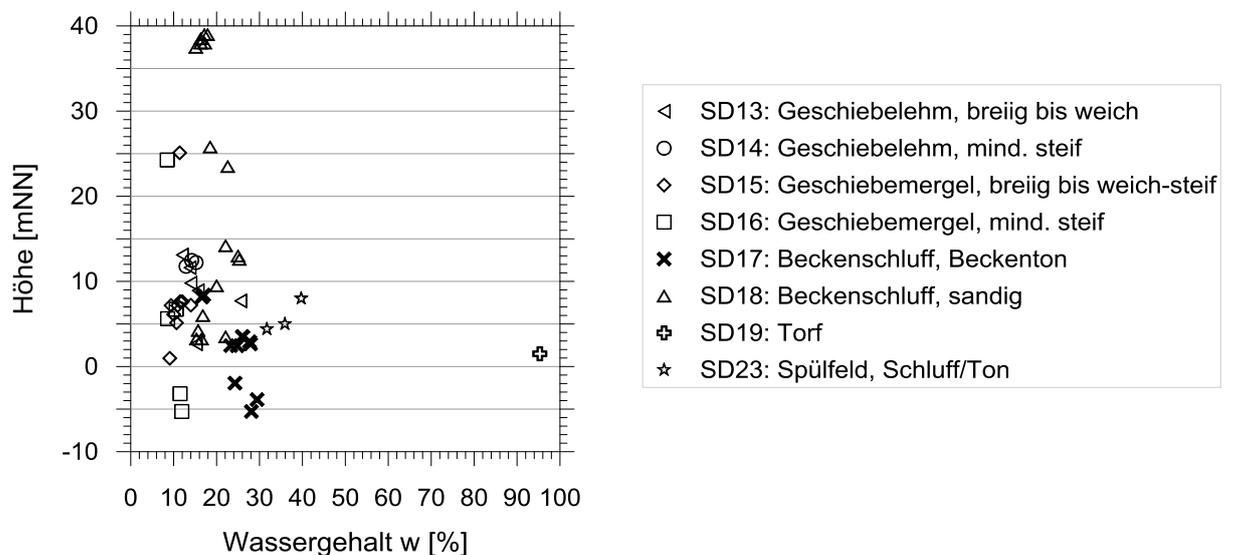


Abbildung 2: Wassergehalte der untersuchten Bodenproben

4.5.2 Kornverteilungen

Zur Ergänzung der im Probenlager (Rendsburg) durchgeführten Bodenprobenansprache (Februar bis Juli 2017) wurden an kennzeichnenden Bodenproben Kornverteilungsanalysen nach DIN 18123⁴ durchgeführt.

⁴ DIN 18123: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korngrößenverteilung

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

Auffüllung: Sand (Schicht SD2 bis SD4)

Die Ergebnisse der Nasssiebungen zeigen, dass es sich bei dem aufgefüllten Sand (Anlage 4.1, Blatt 1-3) sowohl um enggestufte, z.T. schwach schluffige, Fein- und Mittelsande handelt, als auch um weitgestufte, z.T. schwach schluffige Sande mit kiesigen Anteilen, welche gemäß DIN 18196⁵ den Bodengruppen SE, SW und SU zuzuordnen sind. Abbildung 3 zeigt das anhand der Ergebnisse der Laborversuche erstellte Körnungsband (Bandbreite der Körnungslinien).

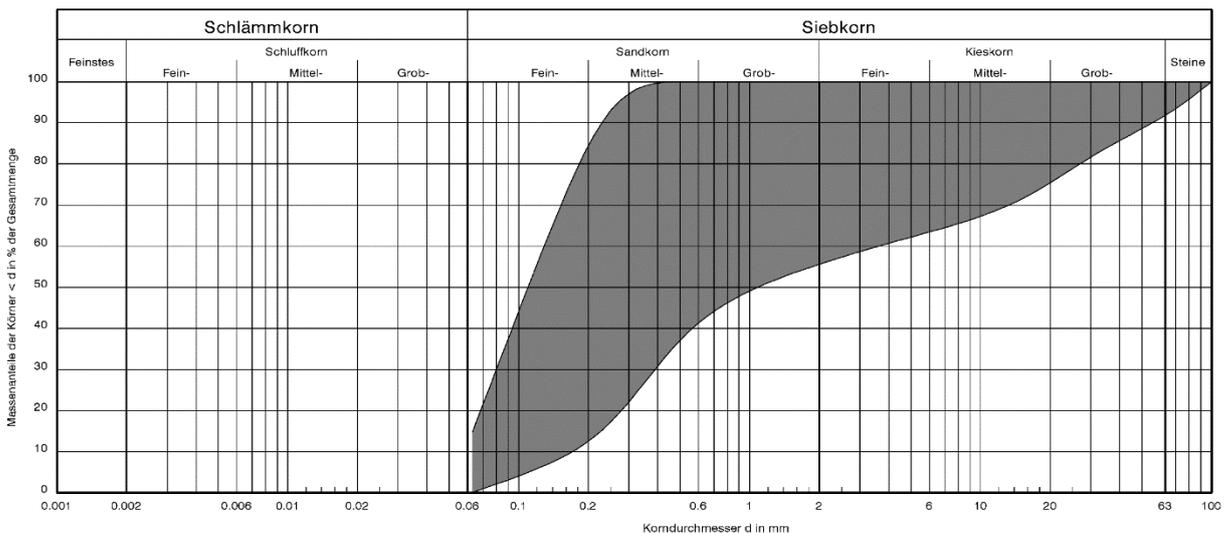


Abbildung 3: Körnungsband Auffüllung, Sand (Schicht SD2 bis SD4)

Auffüllung: Sand, schluffig (Schicht SD5) und Schluff, sandig (Schicht SD6)

Die Ergebnisse der kombinierten Sieb- und Schlämmanalyse sowie der Nasssiebungen zeigen, dass es sich bei den aufgefüllten schluffigen Sanden (Anlage 4.1, Blatt 4) um Böden der Bodengruppe SU* handelt, siehe auch Abb. 4. Die aufgefüllte sandigen Schluffe (Anlage 4.1, Blatt 4) werden als Böden der Bodengruppe UL eingestuft. Das Körnungsband ist in Abb. 5 dargestellt.

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

Die gewachsenen Sande (Anlage 4.1, Blatt 5 und Blatt 6) sind hauptsächlich enggestuft und weisen vielfach Hälfte schwach schluffige Anteile auf. Nur vereinzelt liegen weitgestufte Sande vor. Die gewachsenen Sande sind den Bodengruppen SE, SU und SW zuzuordnen. Ein Körnungsband ist in Abb. 6 dargestellt. Die schluffigen Sande (Anlage 4.1, Blatt 7) sind der Bodengruppe SU* zuzuordnen und werden mit dem Körnungsband in Abb. 7 repräsentiert.

⁵ DIN 18196: Erd- und Grundbau, Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke

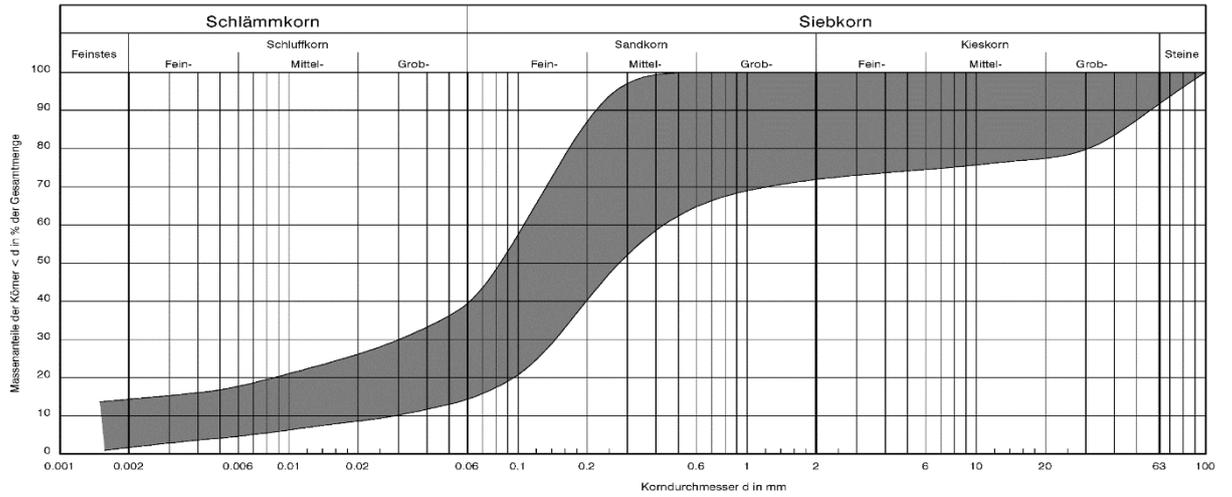


Abbildung 4: Körnungsband Sand, schluffig (Schicht SD5)

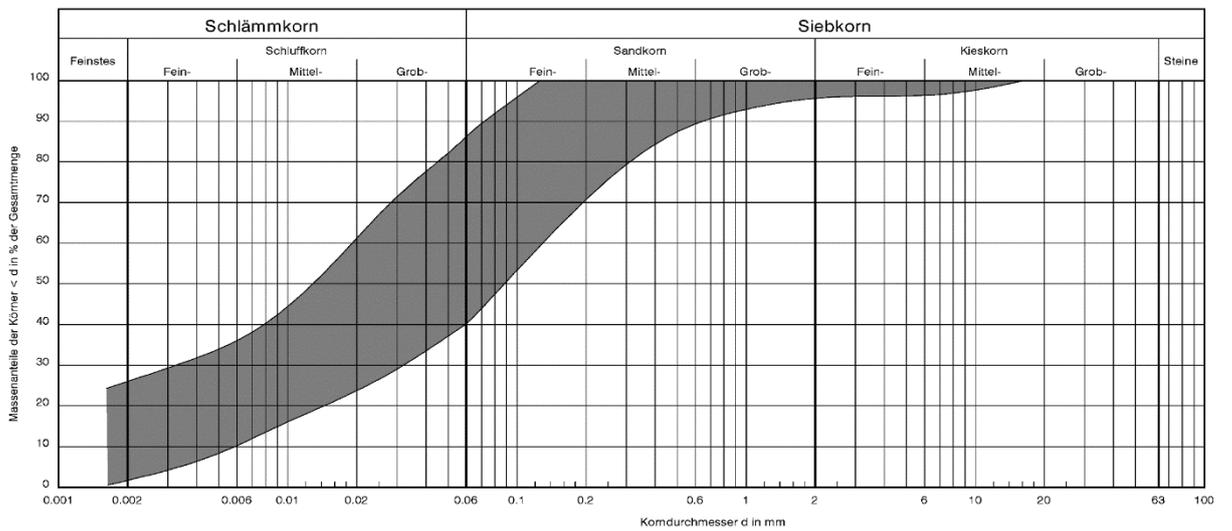


Abbildung 5: Körnungsband Schluff, sandig (Schicht SD6)

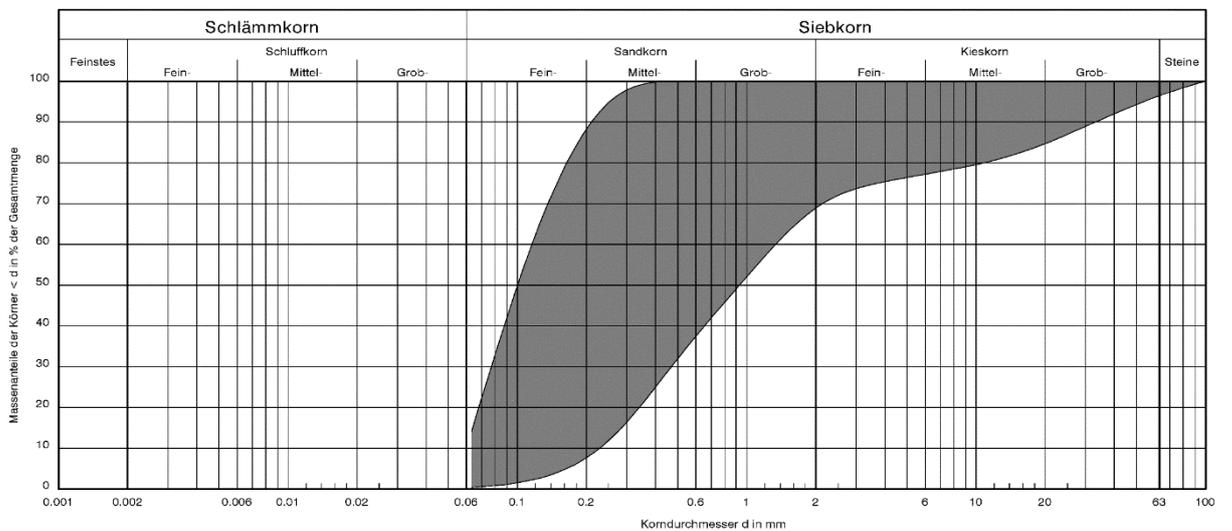


Abbildung 6: Körnungsband Sand (Schicht SD7 bis SD9)

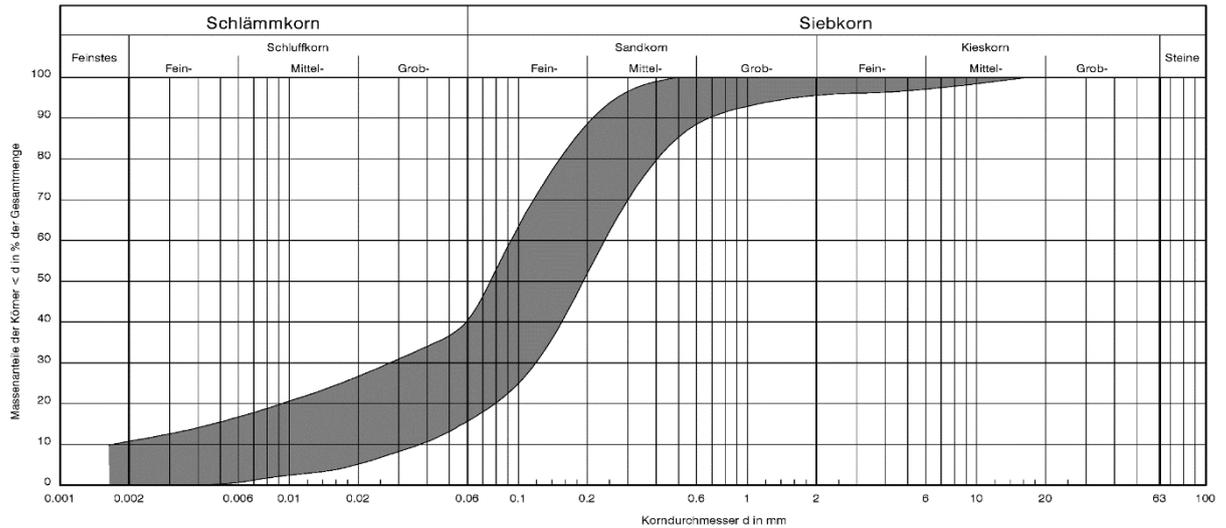


Abbildung 7: Körnungsband Sand, schluffig (Schicht SD10)

Kiessand, schluffig (Schicht SD11) und Kiessand (Schicht SD12)

Die schluffigen Kiessande sind der Bodengruppe GU zuzuordnen sind, siehe Anlage 4.1 Blatt 8 und das Körnungsband in Abb. 8. Die Kiessande sind der Bodengruppe GI zuzuordnen, siehe das auch Körnungsband in Abb. 9 sowie Anlage 4.1.

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

Der Geschiebelehm (Anlage 4.1, Blatt 9 sowie Abb. 10) ist überwiegend sandig ausgeprägt und weist i.d.R. einen geringeren Schluff- und Tonanteil als der Geschiebemergel (Anlage 4.1, Blatt 10 und Blatt 11 sowie Abb. 11) auf. Geschiebelehm und Geschiebemergel können hauptsächlich der Bodengruppe SU* und teilweise den Bodengruppen SU, ST, ST* und UL zugeordnet werden.

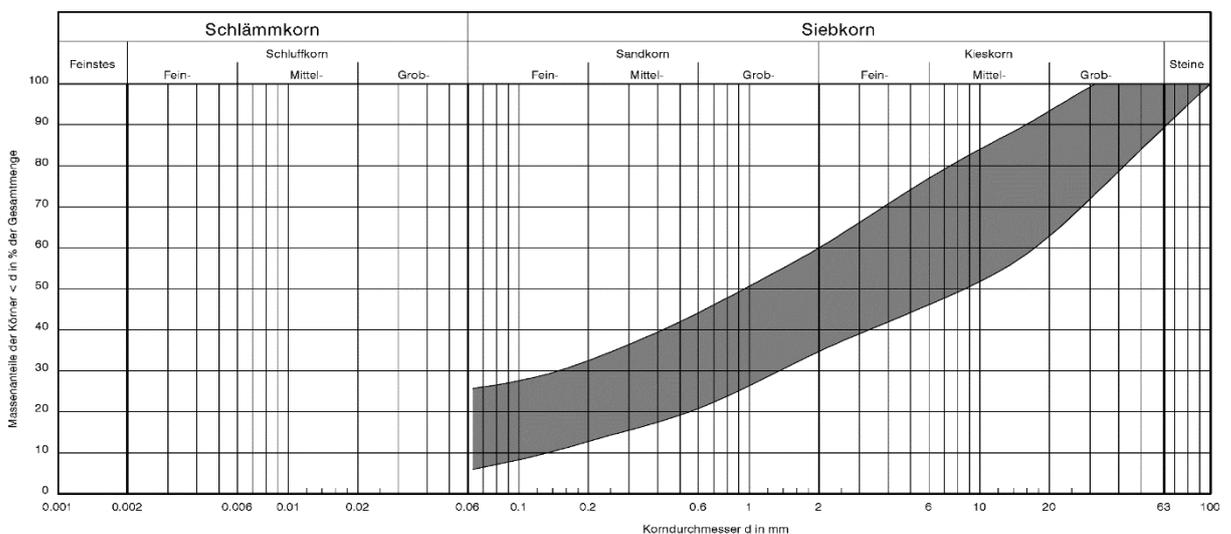


Abbildung 8: Körnungsband Kiessand, schluffig (Schicht SD11)

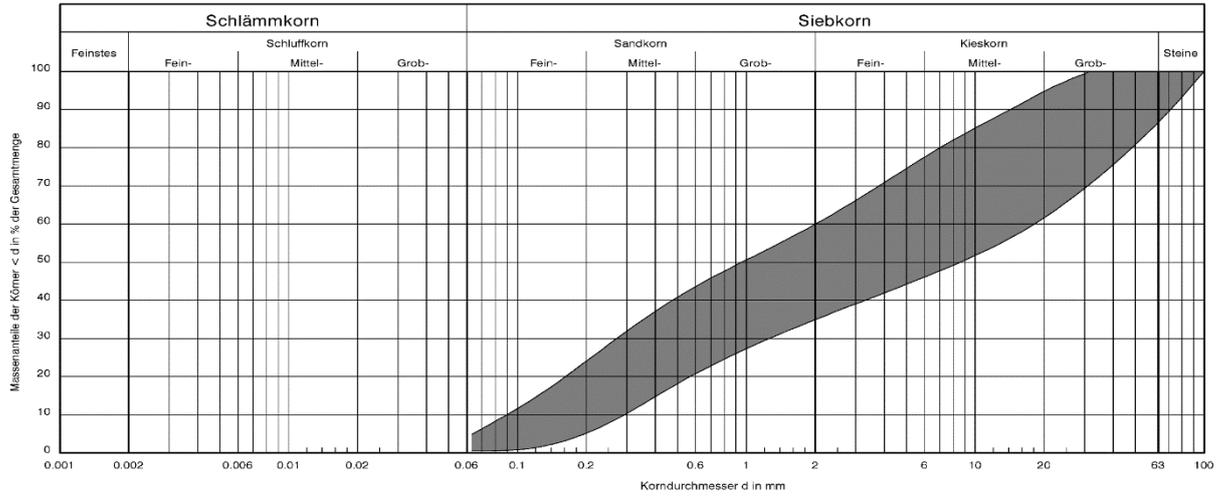


Abbildung 9: Körnungsband Kiessand (Schicht SD12)

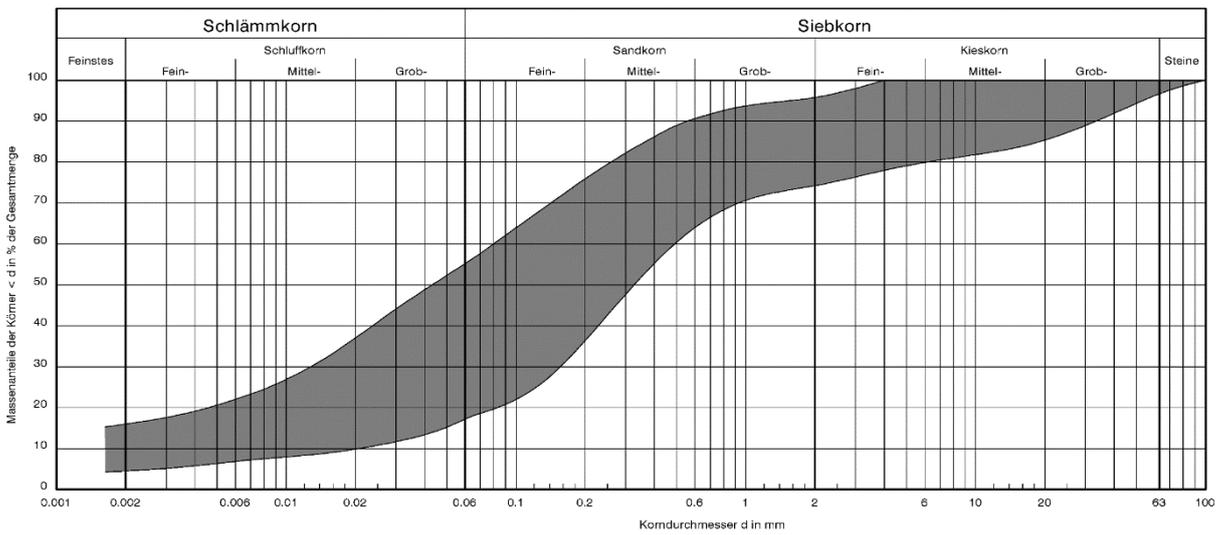


Abbildung 10: Körnungsband Geschiebelehm (Schicht SD13 und SD14)

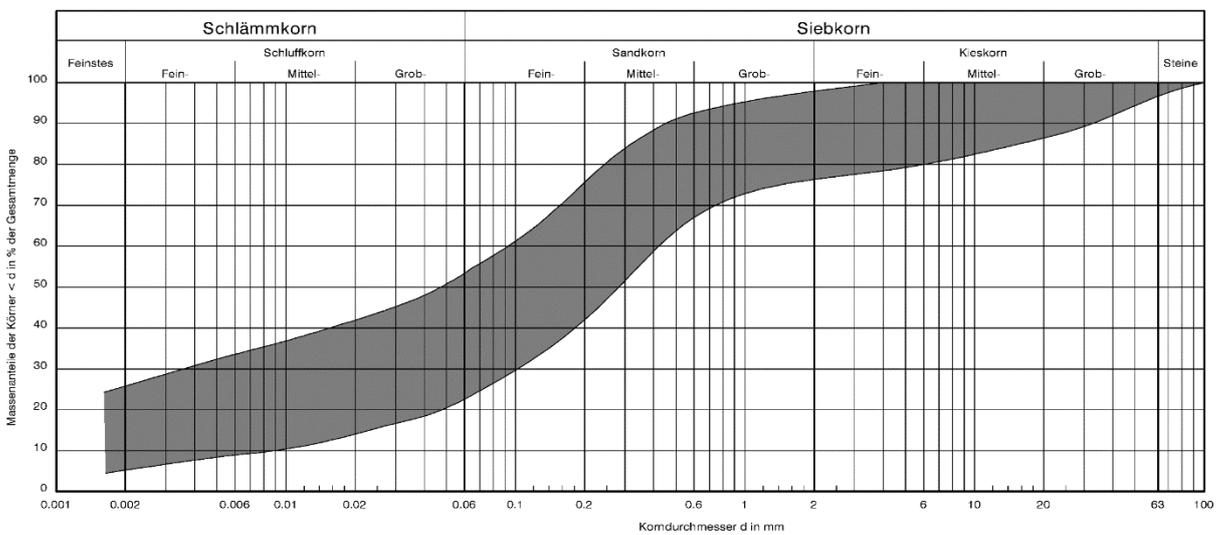


Abbildung 11: Körnungsband Geschiebemergel (Schicht SD15 und SD16)

Beckenschluff, Beckenton (Schicht SD17) und sandiger Beckenschluff (Schicht SD18)

Mit einem Tonanteil von über 15 % und einem Sandanteil zwischen 1 % und 20 % sind die Beckentone und Beckenschluffe (Anlage 4.1 Blatt 12) den Bodengruppen TA, TM, UA und UM zuzuordnen, siehe auch das Körnungsband in Abb. 12. Demgegenüber sind die sandigen Beckenschluffe (Anlage 4.1, Blatt 13 und Blatt 14) mit einem Tonanteil unter 10 % und einem Sandanteil zwischen 12 % und 60 % den Bodengruppen UL, SU, SU*, ST und ST* zuzuordnen, siehe auch das Körnungsband in Abb. 13.

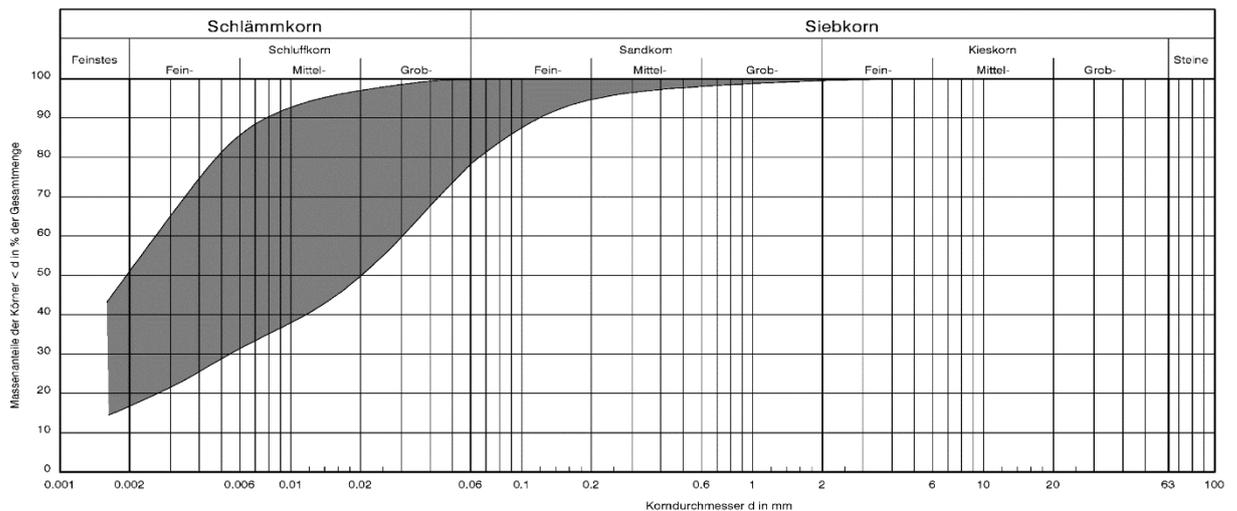


Abbildung 12: Körnungsband Beckenschluff, Beckenton (Schicht SD17)

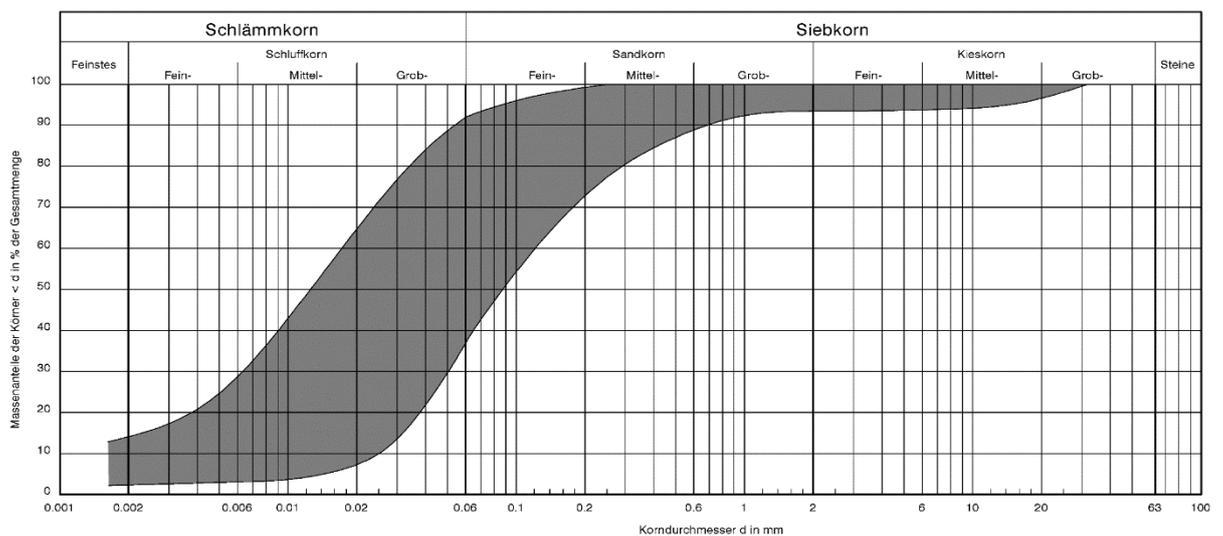


Abbildung 13: Körnungsband sandiger Beckenschluff (Schicht SD18)

Spülfeld: Sand (Schicht SD21), Sand, schluffig (Schicht SD22) und Schluffe und Tone (Schicht SD23)

Die unterschiedlichen Böden des Spülfeldes wurden entsprechend ihres jeweiligen Anteils an der Gesamtböhrlänge gewichtet und entsprechend dieser Gewichtung wurde eine repräsentative Auswahl an Nasssiebungen und kombinierten Sieb- und Schlämmanalysen festgelegt. Demnach machen die Sande aus dem Spülfeld (Anlage 4.1, Blatt 15 -17) mit einem Schluffanteil von unter 15 % (Bodengruppen SU, SE, SW) und einem Kiesanteil von 0 % bis 30 % den größten Anteil des Bodenmaterials im Spülfeld aus. Das Körnungsband hierzu ist in Abb. 14 dargestellt.

Die schluffigen Sande (Anlage 4.1, Blatt 18 sowie Abb. 15) und die Schluffe bzw. Tone (Anlage 4.1, Blatt 19 sowie Abb. 16), d.h. die Bodengruppen SU*, UL, UM, UA, TA, TM und TL machen jedoch ebenfalls einen großen Anteil des Spülfeldmaterials aus.

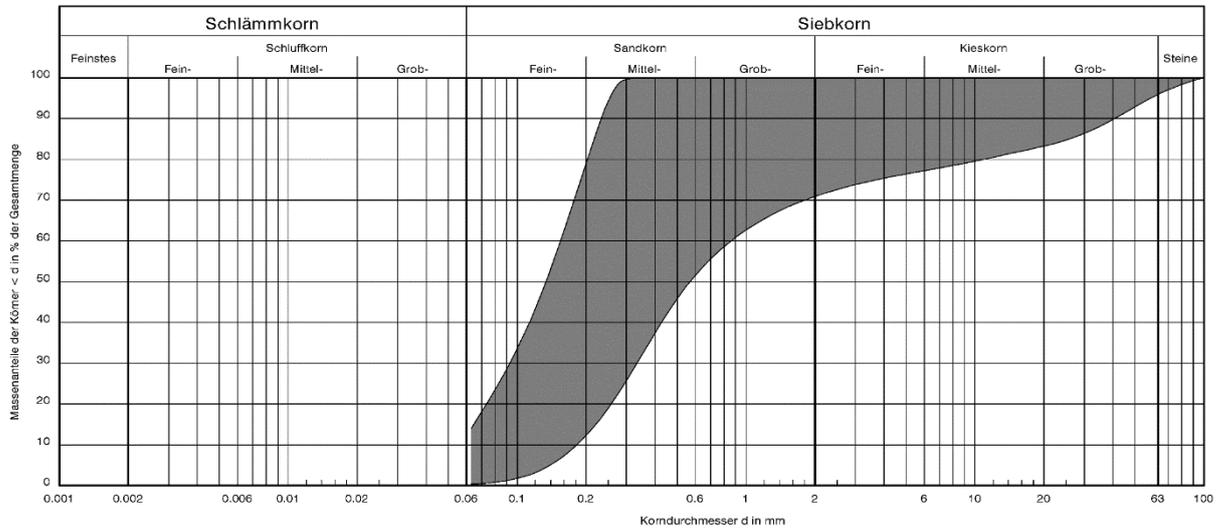


Abbildung 14: Körnungsband Sand (Schicht SD21)

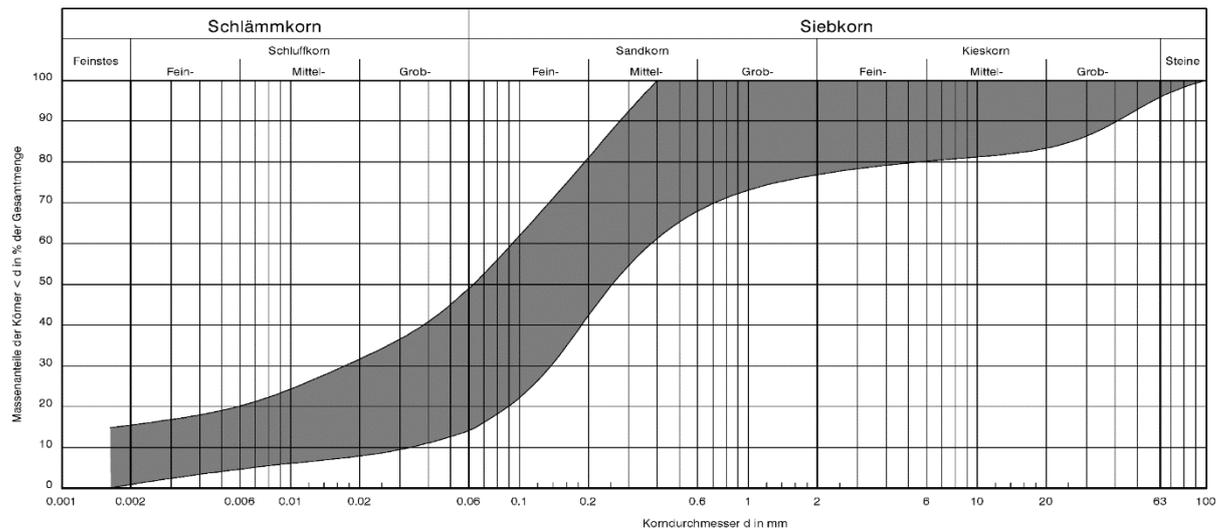


Abbildung 15: Körnungsband Sand, schluffig (Schicht SD22)

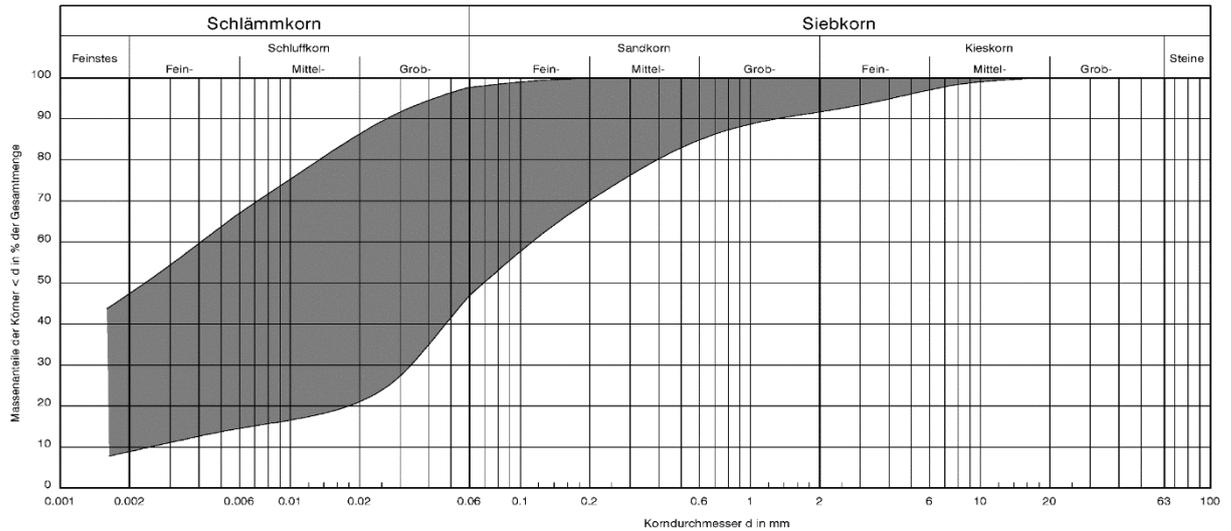


Abbildung 16: Körnungsband Schluffe und Tone (Schicht SD23)

4.5.3 Konsistenzgrenzen

Die Ergebnisse der Konsistenzgrenzenermittlung gemäß DIN 18122-1⁶ können der Anlage 4.2 entnommen werden. Untersucht wurden eine Probe des Geschiebelehm, fünf Proben des Beckentons / Beckenschluffs und drei Proben des sandigen Beckenschluffs.

Zusätzlich wurden bei der Bohrgutansprache Konsistenzbestimmungen mit dem Taschenpenetrometer durchgeführt. Hierbei erfolgte für jede Untersuchung eine Mittelwertbildung aus mind. 3 Einzelversuchen. Die Korrelation der undränierten Scherfestigkeit c_u mit der Konsistenzzahl I_c wurde dabei auf Grundlage von Erfahrungswerten vorgenommen.

Geschiebelehm (Schicht SD13 u. SD14) und Geschiebemergel (Schicht SD15 u. SD16)

Bei dem Geschiebelehm (Anlage 4.2, Seite 5) handelt es sich hinsichtlich der plastischen Eigenschaften nach dem Plastizitätsdiagramm von CASAGRANDE um ein Sand – Schluff – Gemisch (SU*). Die Plastizitätszahl wurde mit 0,8 % bestimmt. Die Fließgrenze beträgt 17,9 %. Die Konsistenz wurde mit dem gemessenen Wassergehalt der Probe von 15,2 % als weich - steif bestimmt.

In Abbildung 17 sind die Ergebnisse zur Ermittlung der Konsistenzzahl mit dem Taschenpenetrometer für den Geschiebelehm (SD13 und SD14) sowie für den Geschiebemergel (SD15 und SD16) in Abhängigkeit der Tiefe unter GOK zusammengestellt.

Es ist festzustellen, dass in den oberflächennahen Bereichen bis 5 m u. GOK eine große Streubreite der Konsistenzzahl von $I_c = 0,15$ bis $I_c = 0,85$ vorliegt. Mit zunehmender Tiefe ergibt sich hier einheitlich eine mindestens steife Konsistenz.

⁶ DIN 18122: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen) - Teil 1: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze

Beckenschluff und Beckenton (Schicht SD17)

Bei den drei Proben des Beckentones / Beckenschluffs (Anlage 4.2, Seiten 4, 6 und 9) handelt es sich hinsichtlich der plastischen Eigenschaften nach dem Plastizitätsdiagramm von CASAGRANDE um einen Boden im Nahbereich oberhalb und unterhalb der A-Linie, welcher leichtplastisch bis mittelplastisch ist (UM, TL, TM). Die Plastizitätszahl wurde mit 9,9 % bis 21,7 %, i.M. 14,6 % bestimmt. Die Fließgrenze beträgt 28,6 % bis 42,8 %, i.M. 36,2 %. Die Konsistenzen wurde mit den gemessenen Wassergehalten der Proben von 23,4 % bis 29,4 % als weich - breiig, weich und weich - steif bestimmt.

In Abbildung 18 sind die Ergebnisse zur Ermittlung der Konsistenzzahl mit dem Taschenpenetrometer für den Beckenschluff/Beckenton (SD17) in Abhängigkeit der Tiefe unter GOK zusammengestellt. Diese Bodenschicht wurde in Tiefen von 12,0 m bis 16,0 m u. GOK untersucht und zeigt hier mit einer Konsistenzzahl von $I_c = 0,55$ bis $I_c = 0,85$ weiche bis steife Konsistenzen.

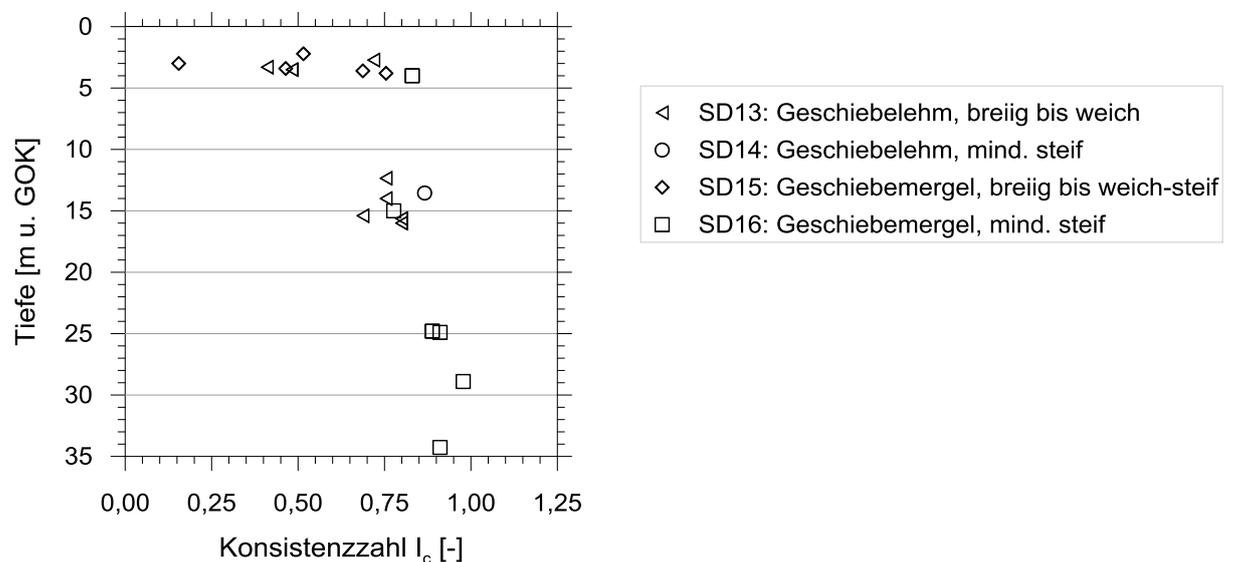


Abbildung 17: Konsistenzzahl nach Taschenpenetrometererests für Geschiebelehm und Geschiebemergel (Schicht SD13 bis SD16)

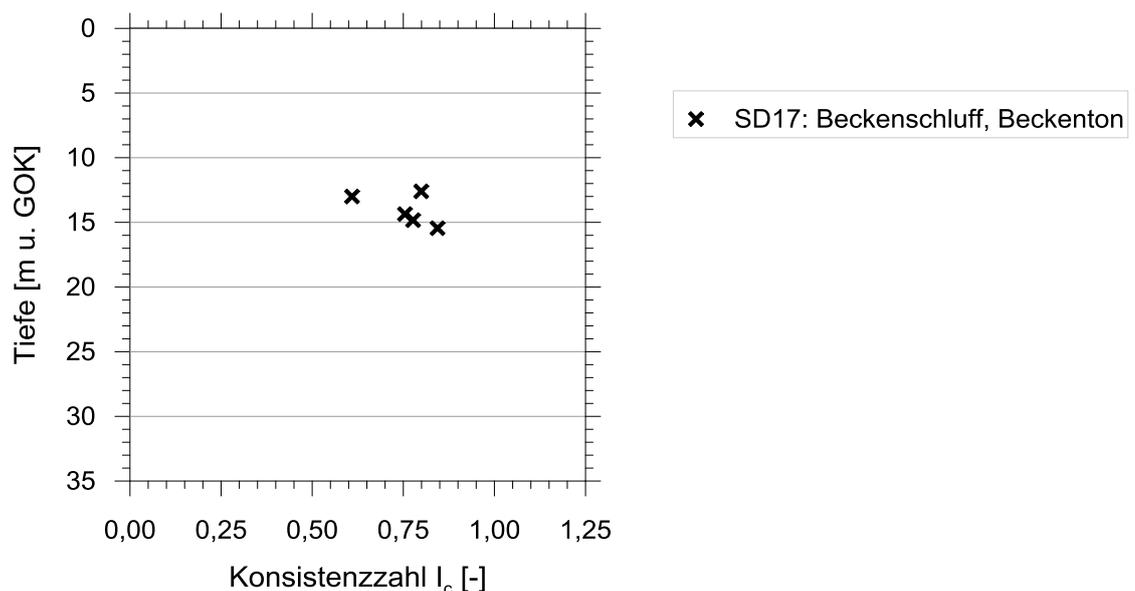


Abbildung 18: Konsistenzzahl nach Taschenpenetrometererests für Beckenschluff und Beckenton (Schicht SD17)

Beckenschluff, sandig (Schicht SD18)

Bei den drei Proben des sandigen Beckenschluffs (Anlage 4.2, Seiten 3, 7 und 8) handelt es sich hinsichtlich der plastischen Eigenschaften nach dem Plastizitätsdiagramm von CASAGRANDE um einen leicht plastischen Schluff bzw. um ein Sand-Schluff-Gemisch (UL, SU*). Die Plastizitätszahl wurde mit 1,5 % bis 5,1 %, i.M. 3,2 % bestimmt. Die Fließgrenze beträgt 16,3 % bis 24,5 %, i.M. 20,3 %. Die Konsistenz wurde mit den gemessenen Wassergehalten der Proben von 15,3 % bis 22,2 % als weich bis weich - steif bestimmt.

In Abbildung 19 sind die Ergebnisse zur Ermittlung der Konsistenzzahl mit dem Taschenpenetrometer für den sandigen Beckenschluff (SD18) in Abhängigkeit der Tiefe unter GOK zusammengestellt.

Die Ergebnisse zeigen über die Tiefe Konsistenzzahlen von $I_c = 0,60$ bis $I_c = 0,85$, was weichen und steifen Konsistenzen entspricht.

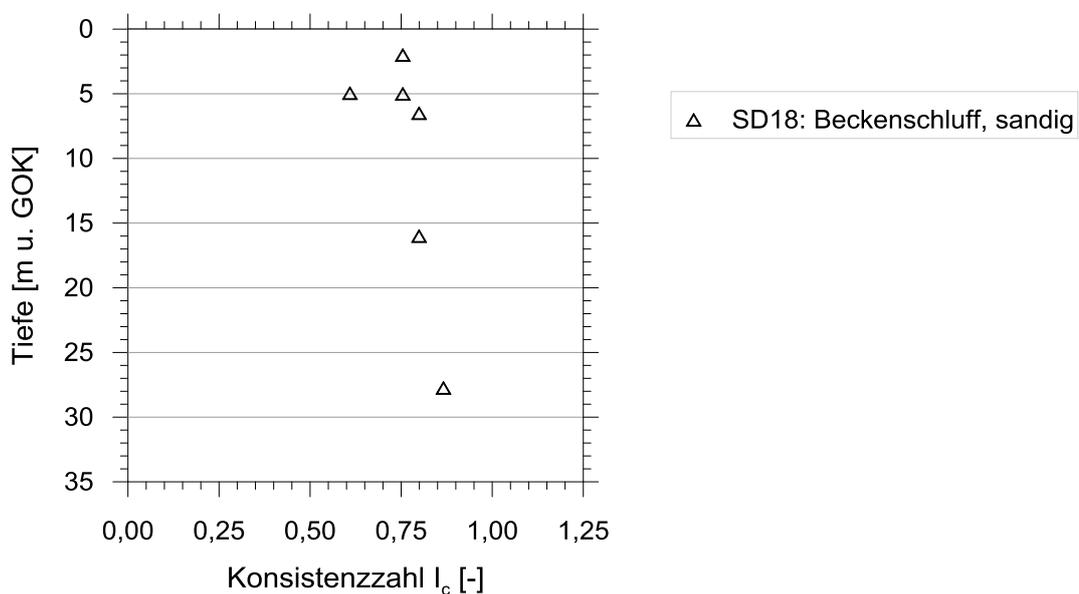


Abbildung 19: Konsistenzzahl nach Taschenpenetrometererests für sandigen Beckenschluff (Schicht SD18)

Spülfeld: Schluffe und Tone (SD23) sowie Sand, schluffig (SD22)

Bei den zwei Proben des Schluffs / Tons aus dem Spülfeld (Anlage 4.2, Seiten 1 und 2) handelt es sich hinsichtlich der plastischen Eigenschaften nach dem Plastizitätsdiagramm von CASAGRANDE um einen Boden oberhalb der A-Linie, welcher mittelplastisch bis ausgeprägt plastisch ist (TM, TA). Die Plastizitätszahl wurde mit 18,8 % bzw. 32,3 % bestimmt. Die Fließgrenze beträgt 40,1 % bzw. 55,2 %. Die Konsistenz wurde mit den gemessenen Wassergehalten der Proben von 35,9 % bzw. 39,7 % als breiig bzw. breiig - weich bestimmt.

In Abbildung 20 sind die Ergebnisse zur Ermittlung der Konsistenzzahl mit dem Taschenpenetrometer für Schluff/Ton vom Spülfeld (Schicht SD23) sowie schluffigen Sand vom Spülfeld (Schicht SD23) in Abhängigkeit der Tiefe unter GOK zusammengestellt.

Es ist festzustellen, dass eine große Streubreite der Konsistenzzahl von $I_c = 0,30$ bis $I_c = 1,00$ vorliegt.

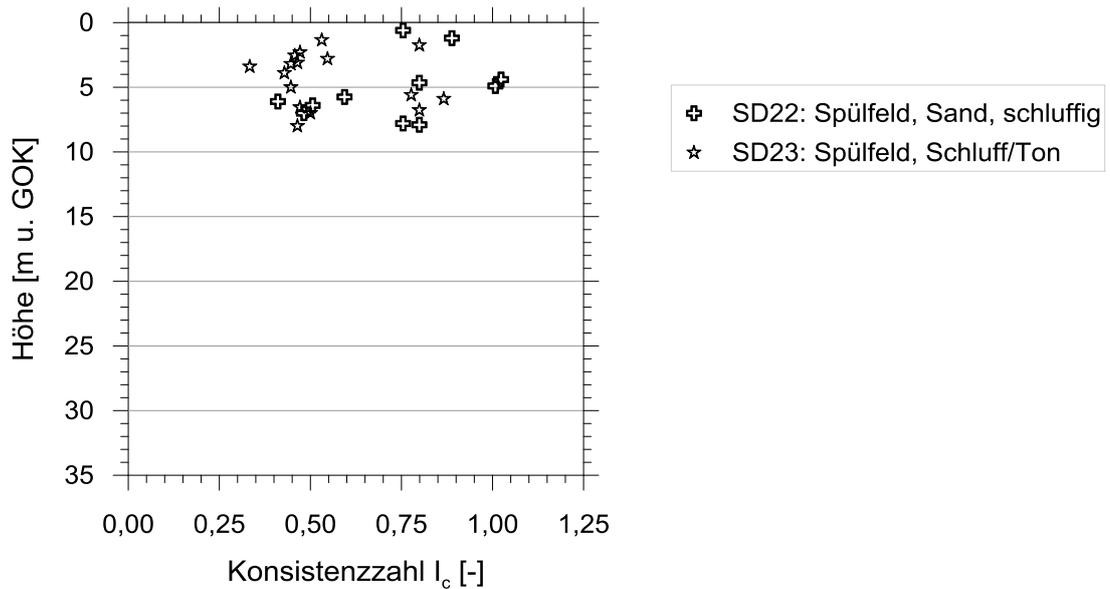


Abbildung 20: Konsistenzzahl nach Taschenpenetrometer tests für Spülfeld – Schluff/Ton (Schicht SD23) sowie schluffigen Sand (Schicht SD23)

4.5.4 Einaxiale Druckversuche

Zur Bestimmung der undrained Scherfestigkeit c_u der bindigen Schichten wurden einaxiale Druckversuche gemäß DIN 18136⁷ an ausgewählten ungestörten Bodenproben durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Anlage 4.5 dargestellt und in folgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 3: Ergebnisse der einaxialen Druckversuche

Schicht: Bodenart	Bohrung Tiefe	Wasser-	Druck-	Bruch-	undrained Scherfestig- keit ¹⁾
		gehalt	festigkeit	stauchung	
		w	q_u	ε	
	[m u. GOK]	[%]	[kN/m ²]	[%]	c_u [kN/m ²]
SD17: Beckenton / Beckenschluff	B22 14,75 – 15,00	21,6	405,0	2,3	202,5
SD10: Sand, schluffig	B43 26,00 – 26,25	16,2	51,0	4,0	25,5
SD16: Geschiebemergel, mind. steif	GWM04 25,75 – 26,00	8,3	256,0	2,0	128,0

¹⁾ $c_u = q_u / 2$

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

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 4: Ergebnisse der Direkten Scherversuche – Sand, mitteldicht (SD8) und Auffüllung, Sand (SD2 bis SD4)

Bohrung (Schicht) 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]
B45 ¹⁾ (SD8) 11,00 – 11,25	10,0 8,4 9,3	100 300 500	102,8 282,5 476,0	43,1	6,2
B44 ¹⁾ (SD2) 8,00 – 9,00	8,0 7,9 7,9	100 200 300	65,8 132,3 187,3	31,3	6,7
B44 ¹⁾ (SD3) 13,00 – 14,00	7,4 7,5 7,3	100 200 300	77,0 159,0 219,8	35,6	8,7
B49 ¹⁾ (SD3) 3,00 – 4,00	7,9 7,5 7,6	50 100 150	31,8 66,3 94,3	32,0	1,6
B21 ¹⁾ (SD4) 20,00 – 21,00	9,0 8,4 8,6	200 350 500	128,0 190,3 304,5	30,5	1,9

¹⁾ Dammbereich

Tabelle 5: Ergebnisse der Direkten Scherversuche – Geschiebelehm, breiig bis weich (SD13)

Bohrung (Schicht) Tiefe	Anfangs- wasser- gehalt	Normal- spannung	Scher- spannung	Reibungs- winkel	Kohäsion
[m u. GOK]	[%]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[°]	[kN/m ²]
B07 ¹⁾	13,8	50	51,3		
(SD13)	13,8	150	137,5	37,7	16,1
2,50 – 2,75	13,8	300	246,0		
B48 ¹⁾	13,5	50	62,3		
(SD13)	13,7	100	100,5	39,0	20,7
8,00 – 8,25	18,6	150	142,8		
B50 ¹⁾	13,8	100	95,0		
(SD13)	14,5	200	154,0	34,8	21,6
3,00 – 3,25	13,7	300	233,8		

¹⁾ Dammfuß

Tabelle 6: Ergebnisse der Direkten Scherversuche – Geschiebelehm, weich-steif bis steif (SD14)

Bohrung (Schicht) Tiefe	Anfangs- wasser- gehalt	Normal- spannung	Scher- spannung	Reibungs- winkel	Kohäsion
[m u. GOK]	[%]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[°]	[kN/m ²]
B16 ¹⁾	14,2	100	74,5		
(SD14)	14,2	400	220,5	28,7	13,9
3,00 – 3,25	14,2	700	402,5		

¹⁾ Dammfuß

Tabelle 7: Ergebnisse der Direkten Scherversuche – Geschiebemergel, breiig bis weich-steif (SD15)

Bohrung (Schicht) Tiefe	Anfangs- wasser- gehalt	Normal- spannung	Scher- spannung	Reibungs- winkel	Kohäsion
[m u. GOK]	[%]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[°]	[kN/m ²]
B53 ¹⁾	11,3	100	120,0		
(SD15)	11,2	200	186,8	34,8	49,4
3,00 – 3,25	10,3	300	259,0		
B54 ¹⁾	10,7	100	109,5		
(SD15)	10,6	200	164,8	33,7	38,3
6,00 – 6,25	10,7	300	242,3		
B55a ¹⁾	12,	100	84,5		
(SD15)	12,1	200	134,5	28,0	30,1
3,00 – 4,00	11,8	300	190,8		

¹⁾ Dammfuß

Tabelle 8: Ergebnisse der Direkten Scherversuche – Geschiebemergel, mind. steif (SD16)

Bohrung (Schicht) Tiefe	Anfangs- wasser- gehalt	Normal- spannung	Scher- spannung	Reibungs- winkel	Kohäsion
[m u. GOK]	[%]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[°]	[kN/m ²]
GWM04 ¹⁾	14,3	100	79,0		
(SD16)	12,6	200	183,8	34,6	20,8
19,00 – 19,25	12,5	300	217,0		
B43 ¹⁾	10,1	100	88,5		
(SD16)	11,2	200	169,0	32,6	29,6
18,00 – 18,25	12,7	300	216,3		

¹⁾ Dammfuß

Tabelle 9: Ergebnisse der Direkten Scherversuche - Beckenton / -schluff (SD17)

Bohrung (Schicht) Tiefe	Anfangs- wasser- gehalt	Normal- spannung	Scher- spannung	Reibungs- winkel	Kohäsion
[m u. GOK]	[%]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[°]	[kN/m ²]
B11 ¹⁾	15,7	100	90,8		
(SD17)	15,7	300	189,3	29,7	28,1
4,00 – 4,25	15,7	500	318,3		

¹⁾ Dammfuß

Tabelle 10: Ergebnisse der Direkten Scherversuche - Beckenschluff, sandig (SD18)

Bohrung (Schicht) Tiefe	Anfangs- wasser- gehalt	Normal- spannung	Scher- spannung	Reibungs- winkel	Kohäsion
[m u. GOK]	[%]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[°]	[kN/m ²]
B19 ¹⁾	17,4	600	450,0		
(SD18)	17,2	800	603,8	36,0	17,0
38,00 – 39,00	16,8	1000	740,5		
B20 ¹⁾	17,3	600	418,8		
(SD18)	17,7	800	524,0	33,0	20,2
37,00 – 38,00	16,8	1000	678,8		
B10 ²⁾	16,8	200	172,0		
(SD18)	16,8	400	337,0	39,6	5,7
5,00 – 6,00					
B14 ²⁾	16,5	100	72,3		
(SD18)	16,5	400	213,5	26,3	20,4
3,00 – 3,25	16,5	700	368,0		
B16 ²⁾	23,3	200	113,0		
(SD18)	23,3	400	216,8	26,7	13,8
13,00 – 13,25	23,3	800	415,0		

¹⁾ Dammbereich²⁾ Dammfuß

Tabelle 11: Ergebnisse der Direkten Scherversuche – Sand, Spülfeld (SD21)

Bohrung (Schicht) Tiefe	Anfangs- wasser- gehalt	Normal- spannung	Scher- spannung	Reibungs- winkel	Kohäsion
[m u. GOK]	[%]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[°]	[kN/m ²]
B02	-	50	41,8		
(SD21)	-	100	77,4	36,9	0,0
3,00 – 3,25	-	150	108,6		
B04	-	50	46,8		
(SD21)	-	100	68,1	33,8	0,0
1,25 – 2,90	-	150	93,8		
B05	-	50	43,9		
(SD21)	-	100	61,3	31,7	0,0
2,00 – 3,15	-	150	87,8		

4.5.6 Kompressionsversuche

Kompressionsversuche gemäß DIN 18135⁸ wurden an acht ungestörten Proben durchgeführt. Die Ergebnisse sind der Anlage 4.3 zu entnehmen; eine Übersicht ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 12: Ergebnisse der Kompressionsversuche – Geschiebemergel, breiig bis weich-steif (SD15)

Bohrung (Schicht) Tiefe	Wasser- gehalt	Kompressi- onsbeiwert	Konsolidati- onsbeiwert ¹⁾	Steifemodu ²⁾ E _s [MN/m ²]					
				w	C_c	c_v	Spannung [kN/m ²]		
[m u. GOK]	[%]	[-]	[m ² /s]	25	50	100	200	400	800
B46 ³⁾									
(SD15)	9,1	0,043	6,91E-07 / 4,17E-07	5,15	6,77	10,02	16,50	29,46	55,38
4,00 - 4,25									
B55a ³⁾									
(SD15)	11,5	0,060	1,37E-07 / 1,85E-07	2,81	3,92	6,12	10,52	19,33	36,95
3,00 - 4,00									

¹⁾ Laststufen der Zeitsetzung [kN/m²]: 100 bis 200 / 200 bis 400

²⁾ Ermittlung als Tangentenmodul

³⁾ Dammfuß

⁸ DIN 18135: Baugrund - Untersuchung von Bodenproben - Eindimensionaler Kompressionsversuch

Tabelle 13: Ergebnisse der Kompressionsversuche – Geschiebemergel, mind. steif (SD16)

Bohrung (Schicht) Tiefe	Wasser- gehalt w	Kompressi- onsbeiwert C _c	Konsolidati- onsbeiwert ¹⁾ c _v	Steifemodu ²⁾ E _s [MN/m ²]					
				Spannung [kN/m ²]					
[m u. GOK]	[%]	[-]	[m ² /s]	50	100	200	400	800	1600
1. Belastung									
B43 ⁴⁾ (SD16) 35,0 - 35,25	12,3	0,102	3,01E-08 / 5,21E-08	6,67	7,96	10,54	15,71	26,03	46,68
2. Belastung									
		0,023 ³⁾	3,49E-08	12,09	14,96	20,71	32,22	-	-

¹⁾ Laststufen der Zeitsetzung [kN/m²]: 1. Belastung - 200 bis 400 / 400 bis 800; 2. Belastung 100 bis 200

²⁾ Ermittlung als Tangentenmodul

³⁾ hier für 2. Belastung: Schwellbeiwert C_s

⁴⁾ Dammfuß

Tabelle 14: Ergebnisse der Kompressionsversuche - Beckenschluff, sandig (SD18)

Bohrung (Schicht) Tiefe	Wasser- gehalt w	Kompressi- onsbeiwert C _c	Konsolidati- onsbeiwert ¹⁾ c _v	Steifemodu ²⁾ E _s [MN/m ²]					
				Spannung [kN/m ²]					
[m u. GOK]	[%]	[-]	[m ² /s]	50	100	200	400	800	1600
B08 ⁴⁾ (SD18) 5,80 - 6,05	17,0	0,053	8,91E-06 / 3,40E-06	6,73	9,31	14,47	24,80	45,45	86,76
B10 ⁴⁾ (SD18) 5,00 - 6,00	16,8	0,042	4,69E-06 / 3,55E-06	14,60	18,32	25,76	40,65	70,43	129,99
B14 ⁴⁾ (SD18) 3,00 - 3,25	15,3	0,087	2,74E-06 / 2,17E-06	4,80	6,96	11,27	19,91	37,18	71,73
B19 ³⁾ (SD18) 38,0 - 39,0	17,9	0,047	7,11E-07 / 6,30E-07	19,11	22,18	28,31	40,56	65,08	114,12
B20 ³⁾ (SD18) 37,0 - 38,0	16,3	0,06	7,00E-07 / 3,57E-07	9,06	12,03	17,96	29,82	53,53	100,97

¹⁾ Laststufen der Zeitsetzung [kN/m²]: 200 bis 400 / 400 bis 800

²⁾ Ermittlung als Tangentenmodul

³⁾ Dammbereich

⁴⁾ Dammfuß

Zur Ermittlung der Sekundärsetzung kann die Beziehung

$$s_{\text{sek}} = c_B \cdot h_1 \cdot \log(t/t_1)$$

mit: c_B Kriechbeiwert

h_1 Schichtdicke bei Abschluss der Primärkonsolidation

t betrachteter Zeitpunkt der Sekundärsetzung

t_1 Zeitpunkt zum Abschluss der Primärkonsolidation

herangezogen werden. Aus den vorliegenden Versuchsergebnissen der Kompressionsversuche lassen sich daraus die in der folgenden Tabelle aufgeführten Kriechbeiwerte ableiten:

Tabelle 15: Kriechbeiwerte nach BUISMANN aus Kompressionsversuchen

Bodenart (Schicht)	Kriechbeiwert c_B [-]		
	Minimum	Mittelwert	Maximum
Geschiebemergel, breiig bis weich- steif (SD15) (4 Zeitsetzungen)	0,0013	0,0015	0,0016
Geschiebemergel, mind. steif (SD16) (3 Zeitsetzungen)	0,0010	0,0014	0,0018
Beckenschluff, san- dig (SD18) (10 Zeitsetzungen)	0,0009	0,0018	0,0028

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 gemäß LAGA⁹ der Aushubböden führen zu folgenden Konsequenzen hinsichtlich des weitergehenden Einbaus dieser Böden:

⁹ Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln Boden – Stand: 6. November 2003

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.

4.6.2 Untersuchungsergebnisse

Zur weiteren Untersuchung, ob mit erhöhten chemischen Belastungen des Bodenmaterials der Dammbauwerke unterhalb der Fahrbahnen sowie im Bereich des Spülfeldes zu rechnen ist, wurden 19 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 8 Mischproben aus ca. 0,5 m – 1,5 m untersucht sowie 4 Mischproben aus dem tieferen Bodenhorizont bis 3,0 m. Die Beprobungspunkte wurden möglichst gleichmäßig auf die zwei Dammbauwerke und die Richtungsfahrbahnen verteilt. Die Untersuchungsergebnisse sind in Anlage 5.1 dargestellt und in der Tabelle 16 zusammengefasst.

Für die Untersuchungen des Materials aus dem Spülfeld wurden die aufgefüllten Böden, ohne Mutterboden, von je 3 nebeneinander liegenden Aufschlüssen zusammen untersucht. Insgesamt wurden 7 Mischproben aus ca. 0,4 m – 8,0 m untersucht. Die Untersuchungsergebnisse sind in Anlage 5.1 dargestellt und in der Tabelle 17 zusammengefasst.

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

Probenbezeichnung	Tiefe [m u. GOK]	RiFa Aufschluss	Bodenart	Zuordnung gem. LAGA	maßgebende Parameter
a) Dammbauwerk Nord					
MP8	0,56 - 1,50	Hamburg BS03, BS04	aufgefüllter Sand, schwach schluffig	Z1	Cyanid
MP9	0,44 - 1,50	Hamburg BS39, BS40	aufgefüllter Sand	Z1	Cyanid
MP10	0,51 - 1,80	Flensburg BS02, BS01	aufgefüllter Sand	Z0	-
MP11	1,80 - 3,00	Flensburg BS02, BS01	aufgefüllter Sand	Z0	-
MP12	0,63 - 1,50	Flensburg BS36, BS37, BS41	aufgefüllter Sand	Z1	Kohlenwasserstoffe, Kupfer
MP13	1,50 - 2,80	Flensburg BS36, BS37, BS41	aufgefüllter Sand	Z0	-
b) Dammbauwerk Süd					
MP16	0,50 - 0,90	Hamburg BS21, BS22	aufgefüllter Sand, Schluffbrocken	Z0	-
MP17	0,32 - 1,70	Flensburg BS27	aufgefüllter Sand	Z0	-
MP18	1,70 - 2,70	Flensburg BS27	aufgefüllter Sand, Schluffbrocken	Z0	-
MP19	0,50 - 1,00	Flensburg B21, BS32	aufgefüllter Sand, schwach schluffig	Z1	Kupfer, Zink
MP20	1,00 - 3,00	Flensburg B21, BS32	aufgefüllter Sand, schwach schluffig	Z0	-
MP24	0,50 - 0,80	Hamburg BS30, BS31	aufgefüllter Sand	Z0	-

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

Probenbezeichnung	Tiefe [m u. GOK]	Probenzusammensetzung	Bodenart	Zuordnung gem. LAGA	maßgebende Parameter
MP1	0,40 - 7,00	B05, BS16, BS18	aufgefüllter Sand, Schluff und Mergel	Z1.2	Sulfat
MP2	0,40 - 7,20	BS17, BS19, BS20	aufgefüllter Sand, z.T. schluffig und Mergel	Z0	-
MP3	0,50 - 8,00	B04, BS14, BS15	aufgefüllter Sand, z.T. schwach schluffig	> Z2	Cyanid
MP4	0,60 - 8,00	B02, B03, BS13	aufgefüllter Schluff, Sand und Lehm	Z1.2	Sulfat
MP5	0,50 - 8,00	B01, BS10, BS11	aufgefüllter Schluff und Sand	Z0	-
MP6	0,30 - 6,10	BS05, BS06, BS08	aufgefüllter Sand, z.T. schluffig, Klei und Mergel	Z0	
MP7	0,30 - 7,40	BS07, BS09, BS12	aufgefüllter Sand, z.T. schluffig und Schluff	Z0	-

Dambbauwerke:

Für das Bodenmaterial beider Dammbauwerke zwischen ca. 0,5 m und 1,5 m u. GOK ergibt sich somit bei vier von acht untersuchten Mischproben eine Zuordnungsklasse von Z1, wobei als maßgebende Parameter die PAK-Gehalte sowie Cyanid, Kupfer und Zink hervorzuheben sind. Bei dem Bodenmaterial bis 3,0 m u. GOK wurde bei vier von vier Mischproben keine Belastung festgestellt.

Spülfeld „Trajektfähre“:

Für das Bodenmaterial aus dem Spülfeld ergeben sich bei drei von sieben untersuchten Mischproben Zuordnungsklassen von Z1.2 bzw. >Z2, wobei als maßgebende Parameter die Sulfat und Cyanid Gehalte hervorzuheben sind.

4.7 Wasseranalytik

Aus den Grundwassermessstellen GWM04 und GWM05 wurden zwei Wasserproben entnommen und durch das Labor GBA, Pinneberg, auf beton- und stahlangreifende Inhaltsstoffe gem. DIN 4030¹⁰ bzw. DIN 50929¹¹ untersucht. Die detaillierten Ergebnisse der Analysen sind der Anlage 5.4 zu entnehmen und in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

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
GWM04 / BW603	nicht betonangreifend	sehr gering	sehr gering
GWM05 / BW604	nicht betonangreifend	sehr gering	sehr gering

Weiterhin wurde eine Wasserprobe (GWM05) 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 5.4 zu entnehmen.

Das Analysenergebnis zeigt bezüglich der chemischen Parameter keine Auffälligkeiten des Grundwassers am Entnahmepunkt GWM05. Jedoch kann es bei einer Grundwasserabsenkungsmaßnahme erforderlich werden den Gehalt an Schweb- und Schwimmstoffen (abfiltrierbare Stoffe) im Förderwasser durch geeignete Methoden zu verringern.

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.

¹⁰ DIN 4030-1: Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden, und Gase – Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte

¹¹ DIN 50929-3: Korrosion der Metalle; Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung; Rohrleitungen und Bauteile in Böden und Wässern

4.8 Asphalt

An acht 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 19: Übersicht über die Ergebnisse der PAK-Analytik

Probenbezeichnung / Aufschluss ¹⁾	Dammbauwerk RiFa Bau-km	PAK Gehalt [mg / kg]	Bezeichnung (RuVa-StBo 1-2005 ²⁾)
AP1 / 01	Nord Flensburg 0+050	2,61	Ausbauasphalt
AP1 / 36	Nord Flensburg 0+745	2,07	Ausbauasphalt
AP1 / 04	Nord Hamburg 0+465	nicht nachweisbar	Ausbauasphalt
AP1 / 39	Nord Hamburg 0+585	nicht nachweisbar	Ausbauasphalt
AP1 / 32	Süd Flensburg 2+450	0,41	Ausbauasphalt
AP1 / 27	Süd Flensb. (Parkplatz) 2+650	6,11	Ausbauasphalt
AP1 / 30	Süd Hamburg 2+515	0,60	Ausbauasphalt
AP1 / 21	Süd Hamburg 2+925	5,70	Ausbauasphalt

¹⁾ Alle Proben sind den Aufschlüssen aus Bohrsondierungen entnommen, mit Ausnahme von AP 1 / 21 (Bohrung)

²⁾ Richtlinie für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer- / pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau, Ausgabe 2001, Fassung 2005

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 20: charakteristische Bodenkenngrößen

Bodenschicht	Wichte	Scherparameter ¹⁾	undrÄnirierte 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
SD6: Auffüllung: Schluff, sandig	19 / 9	25,0 / 5	-	≥ 3
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

Bodenschicht	Wichte	Scherparameter ¹⁾	undrÄnierte Kohäsion	Steifemodul ²⁾
	γ_k / γ'_k	φ'_k / c'_k	$c_{u,k}$	$E_{s,k}$
	[kN/m ³]	[°] / [kN/m ²]	[kN/m ²]	[MN/m ²]
SD19: Torf	11 / 1	17,5 / 5	≥ 7,5	0,4-1,0
SD20: Mudde, org. Schluff, breiig bis weich	13 / 3	20 / 2,5	≥ 5	0,5-1,5
SD21: Sand (Spülfeld)	19 / 11	32,5 / 0	-	≥ 40
SD22: Sand, schluffig (Spülfeld)	19 / 11	32,5 / 0	-	≥ 40
SD23: Schluff / Ton (Spülfeld)	20 / 10	25 / 15	≥ 40	≥ 20

¹⁾ Der Erddruckneigungswinkel ist im Torf und der Mudde zu $\delta_k = 0$ zu setzen. In den übrigen Böden kann ein Erddruckneigungswinkel von $\delta_k \leq 2/3 \varphi'_k$ angesetzt werden.

²⁾ Bei Wiederbelastungsverhältnissen können beim Torf und organischen Schluff die 2-fachen Werte und bei den übrigen Böden 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 21: Bemessungswasserstände

Bereich	Höchster charakteristischer Grund-/Schichtwasserstand ¹⁾	Niedrigster charakteristischer Grund-/Schichtwasserstand
a) Dammbauwerk Nord		
von Bau-km 0+000 bis Bau-km 0+250	+11,0 mNN	+8,0 mNN
von Bau-km 0+250 bis Bau-km 0+650	+10,0 mNN	+7,0 mNN
von Bau-km 0+650 bis Bau-km 0+912	+7,5 mNN	+5,0 mNN
b) Dammbauwerk Süd		
von Bau-km 2+412 bis Bau-km 2+650	+6,5 mNN	+1,0 mNN
von Bau-km 2+650 bis Bau-km 2+850	+9,0 mNN	+3,0 mNN

von Bau-km 2+850 bis Bau-km 3+250	+13,0 mNN	+6,0 mNN
--------------------------------------	-----------	----------

²⁾ 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 in Homogenbereiche mit für das jeweilige Bauverfahren vergleichbaren Eigenschaften. Die für die einzelnen Schichten kennzeichnenden Parameter können der Anlage 5 zu diesem Bericht entnommen werden.

Tabelle 22: 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	I A
SD4: Auffüllung: Sand, dicht bzw. sehr dicht	
SD5: Auffüllung: Sand, schluffig	
SD6: Auffüllung: Schluff, sandig	I B
SD7: Sand, locker	
SD8: Sand, mitteldicht	
SD9: Sand, dicht bzw. sehr dicht	
SD10: Sand, schluffig	I A
SD11: Kiessand, schluffig, locker	
SD12: Kiessand, mind. mitteldicht	
SD13: Geschiebelehm, breiig bis weich	
SD14: Geschiebelehm, weich-steif bis steif	
SD15: Geschiebemergel, breiig bis weich-steif	I C
SD16: Geschiebemergel, mind. steif	

Bodenschicht	I DIN 18300 Erdarbeiten
SD17: Beckenschluff, Beckenton	I B
SD18: Beckenschluff, sandig	I D
SD19: Torf	I E
SD20: Mudde, org. Schluff, breiig bis weich	I A
SD21: Sand (Spülfeld)	I B
SD22: Sand, schluffig (Spülfeld)	
SD23: Schluff / Ton (Spülfeld)	

Kempfert Geotechnik GmbH

ppa. 

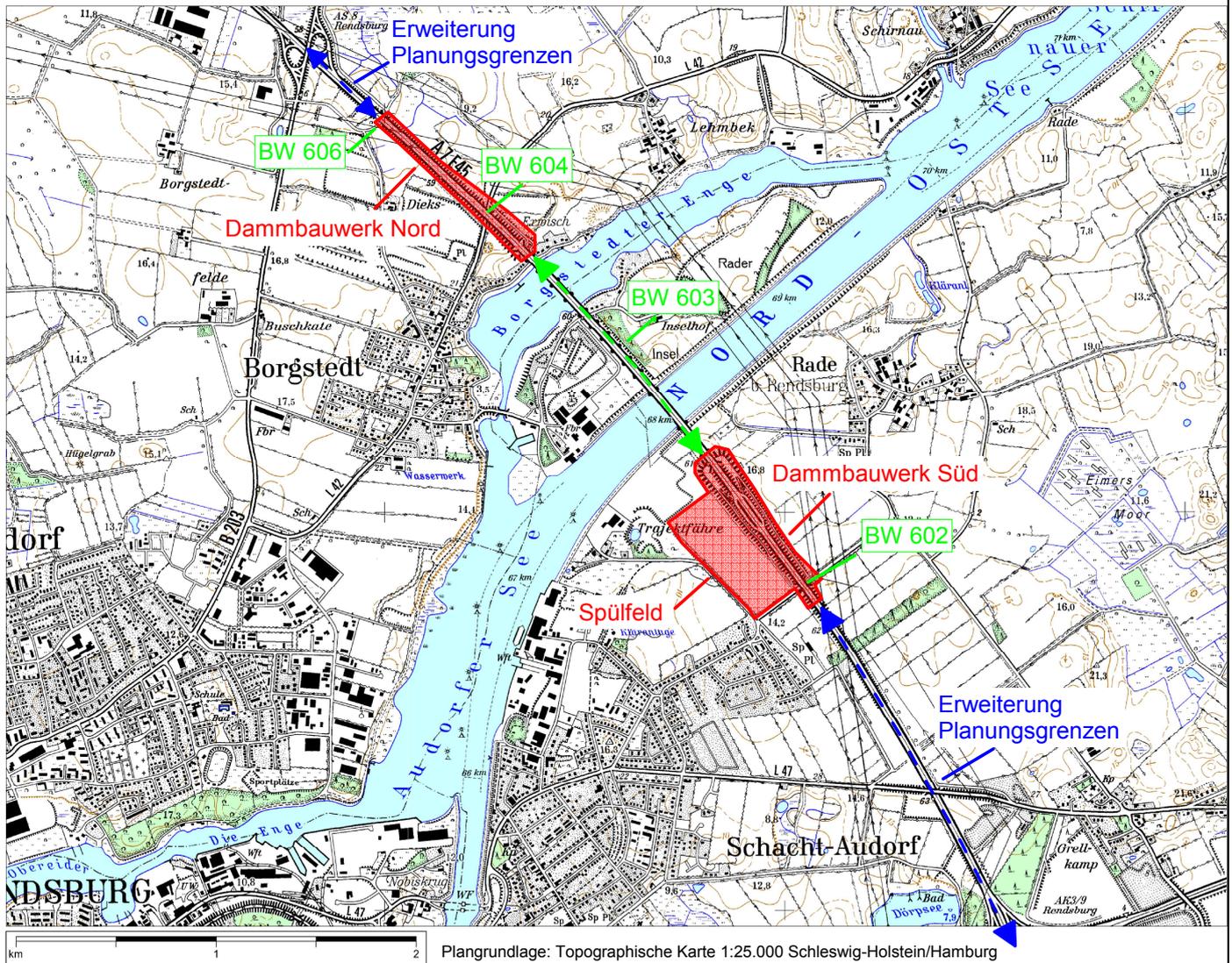
Dr.-Ing. P. Becker

i. A. 

Dipl.-Geol. A. Brockmann

Anlage 1

Übersichtslageplan



Legende:

 Untersuchungsgebiet

BAB A7, Ersatzneubau Rader Hochbrücke, Streckengutachten
 Geotechnischer Bericht
 Übersichtslageplan

Anlage 2

Lageplan der Untergrundaufschlüsse