PHW

Planer für Hafenflächenrecycling und Wasserbau

Ausbau der Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals

Baugrundgutachten für Kanalkilometer 86,1 bis 88,5

Los 1 (Kurve Landwehr mit Fährlandeanlage)

Auftraggeber : Wasser- und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau, Schleuseninsel 2, 24159 Kiel

Auftragsnummer : P06010 25.02.2009 Sd P06010be06.doc

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung 1

2 Veranlassung und Aufgabenstellung 2

3 Unterlagen 2

4 Bauwerk 4
- 4.1 Gesamtmaßnahme 4
- 4.2 Los 1 4

5 Methodik 5
- 5.1 Baugrundaufschlüsse 5
  - 5.1.1 Baugrundaufschlussprogramm 5
  - 5.1.2 Baugrundaufschlüsse 7
  - 5.1.3 Grundwassermessstellenausbau 8
  - 5.1.4 Probenentnahmen 8
- 5.2 Bodenmechanische Versuche 9
- 5.3 Benennung bindiger Bodenschichten 9
- 5.4 Bewertung der Festigkeit aus Drucksondierergebnissen 10
- 5.5 Bestimmung der Konsistenz 10
- 5.6 Geografisches Informationssystem / Baugrundmodell 11

6 Baugrund 13
- 6.1 Baugrundaufbau 13
- 6.2 Homogenbereiche 13
  - 6.2.1 Auffüllungen 13
  - 6.2.2 Torf und Mudde 17
  - 6.2.3 Schmelzwassersand 17
  - 6.2.4 Geschiebemergel (mit Sandlinsen) 19
- 6.3 Bodenkennwerte 21
- 6.4 Grundwasser 23

7 Auswertungen 24
- 7.1 Längs- und Querschnitte 24
- 7.2 Bodenklassifizierungen für Erd- und Nassbaggerarbeiten 24
- 7.3 Geländebruchberechnungen 24
  - 7.3.1 Auswahl der Berechnungsschnitte 25
  - 7.3.2 Berechnungsbodenmodelle 25
  - 7.3.3 Berechnungsergebnisse der Geländebruchberechnungen 25
  - 7.3.4 Bewertung der Berechnungsergebnisse der Geländebruchberechnungen 26

Anlagenverzeichnis

Übersichtslageplan Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals ..... (100-310-01-01-22-031), Anlage 1

Lageplan Aufschlussansatzpunkte Los 1 ..... (100-310-01-01-22-032), Anlage 2

Bohrungen und Drucksondierungen Los 1

Bohrungen und Drucksondierungen (tabellarische Übersicht) ..... Anlagen 3.1 bis 3.4

Bohrprofile ..... Anlagen 3.5 bis 3.38

Drucksondierdiagramme ..... Anlagen 3.39 bis 3.119

Altaufschlüsse ..... Anlagen 3.120 bis 3.132

Lageplan Schnittführungen Los 1 ..... (100-310-01-01-22-033), Anlage 4

Längsschnitte Los 1

Längsschnitt Kkm 85,9 – 87,0 (OK Böschung) ..... (100-310-01-01-22-034), Anlage 5.1

Längsschnitt Kkm 87,0 – 88,0 (OK Böschung) ..... (100-310-01-01-22-035), Anlage 5.2

Längsschnitt Kkm 88,0 – 88,5 (OK Böschung) ..... (100-310-01-01-22-036), Anlage 5.3

Längsschnitt Kkm 85,9 – 87,0 (Wasserlinie) ..... (100-310-01-01-22-037), Anlage 5.4

Längsschnitt Kkm 87,0 – 88,0 (Wasserlinie) ..... (100-310-01-01-22-038), Anlage 5.5

Längsschnitt Kkm 88,0 – 88,5 (Wasserlinie) ..... (100-310-01-01-22-039), Anlage 5.6

Laborversuche / Klassifizierung (Tabellen), Los 1

Auffüllung ..... Anlage 6.1

Mudde und Torf ..... Anlage 6.2

Schmelzwassersand ..... Anlage 6.3.1 und 6.3.2

Geschiebemergel ..... Anlage 6.4.1 bis 6.4.6

Kornverteilungen Los 1 ..... Anlagen 7.1 bis 7.59

Geländebruchsicherheiten Los 1 ..... Anlagen 8.1 bis 8.15

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kornsummenband der bindigen Auffüllungen (aus 8 Körnungslinien) 15
Abbildung 2: Anfangsscherfestigkeiten der Auffüllungen (Mittelwerte) 16
Abbildung 3: Kornsummenband Schmelzwassersand (aus 30 Körnungslinien) 18
Abbildung 4: Kornsummenband Geschiebemergel (aus 20 Körnungslinien) 19
Abbildung 5: Anfangsscherfestigkeiten Geschiebemergel bis NN –11,2 m (Mittelwerte) 20
Abbildung 6: Frühere Geländebrüche (Beispiele) 27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bodenmechanische Laborversuche (aktuelle Baugrunderkundung) 9
Tabelle 2: Bewertung der Sondierergebnisse für nichtbindige Böden 10
Tabelle 3: Ermittlung und Benennung der Konsistenz 10
Tabelle 4: Bodenkennwerte (Los 1) 22
Tabelle 5: Erstaufnahme der Grundwassermessstellen (22.01.2008 bis 29.01.2008) 23
Tabelle 6: Ergebnisse der Geländebruchberechnungen 26

Normen / Empfehlungen

DIN 1054 (2005-01) [DIN 1054 Ber 4: 2008-10]	Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
DIN 4020 (2003-09)	Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke
DIN 4021 (1990-10)	Baugrund - Aufschluss durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben [zurückgezogen, Ersatz: DIN EN ISO 22475-1]
DIN 4022-1 (1990-10)	Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Boden und Fels, Schichtenverzeichnis für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben im Boden und im Fels [zurückgezogen, Ersatz: DIN EN ISO 22475-1 und DIN EN ISO 14688-1]
DIN 4023 (2006-02)	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Aufschlüssen
DIN V 4084-100 (1996-04)	Baugrund - Böschungs- und Geländebruchberechnungen - Teil 100: Berechnung nach dem Konzept mit Teilsicherheitsbeiwerten
DIN 4094-1 (2002-06)	Baugrund - Felduntersuchungen - Teil 1: Drucksondierungen
DIN 18121-1 (1998-04)	Untersuchung von Bodenproben - Wassergehalt - Teil 1: Bestimmung durch Ofentrocknung
DIN 18122-1 (1997-07)	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen) - Teil 1: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze
DIN 18123 (1996-11)	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korngrößenverteilung
DIN 18125-1 (1997-08)	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Dichte des Bodens - Teil 1: Laborversuche
DIN 18128 (2002-12)	Baugrund - Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung des Glühverlustes
DIN 18129 (1996-11)	Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Kalkgehaltsbestimmung
DIN 18132 (1995-12)	Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte - Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens
DIN 18137-2 (1990-12)	Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte; Bestimmung der Scherfestigkeit; Triaxialversuch
DIN 18196 (2006-06)	Erd- und Grundbau - Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke
DIN 18300 (2006-10)	VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Erdarbeiten
DIN 18311 (2006-10)	VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Nassbaggerarbeiten
DIN EN ISO 14688-1 (2003-01)	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung (ISO 14688-1:2002); Deutsche Fassung EN ISO 14688-1:2002
DIN EN ISO 22475-1 (2007-01)	Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen - Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung (ISO 22475-1:2006); Deutsche Fassung EN ISO 22475-1:2006
EAU (2004)	Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen". Häfen und Wasserstraßen. EAU 2004. Verlag Ernst & Sohn, 10. Auflage 2005

1 Zusammenfassung

An der Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals werden die Kurvenradien auf Grund der vorhandenen geringen Querschnittsbreite angepasst. Mit dem vorliegenden Bericht wird der im Zuge des Ausbaus im Los 1 anfallende Boden hinsichtlich seiner relevanten Eigenschaften beurteilt. Dazu wurde der Boden nach DIN 18196 (2006-06), DIN 18300 (2006-10) und DIN 18311 (2006-10) klassifiziert.

Der Baugrund im Los 1 wurde durch direkte und indirekte Aufschlüsse im Zuge einer Bohrkampagne 2007 / 2008 erkundet. Auf Grundlage der Ergebnisse wurden folgende Homogenbereiche festgelegt:

- **Auffüllungen**, überwiegend aus umgelagertem Boden, vorwiegend Geschiebemergel weicher bis steifer Konsistenz; Streckenweise bindige Auffüllungen mit Torf und Mudde, vorwiegend weich bis steif,
- **Torf und Mudde**, überwiegend weicher bis steifer Zustandsform, örtlich holozäne Schluffe,
- **Schmelzwassersande**, überwiegend großer bis sehr großer Festigkeit,
- **Geschiebemergel (mit Sandlinsen)**, weicher bis fester Konsistenz.

Die Böden wurden zur besseren Übersicht in Homogenbereiche unterteilt. Diese sind jedoch durch Inhomogenitäten geprägt (z.B. Sandlinsen im Geschiebemergel).

Im gesamten Baugrund – besonders jedoch in den Auffüllungen, im Schmelzwassersand und im Geschiebemergel – ist mit **Steinen** zu rechnen, die einzeln, lagenweise oder in Nestern auftreten können.

In Abschnitt 6.3 sind Bodenkennwerte angegeben, die nach den Ergebnissen der Laborversuche (Klassifizierungsversuche), den Angaben in den Schichtenverzeichnissen sowie den Erfahrungen der PHW mit vergleichbaren Böden festgelegt wurden. Die Anfangsscherfestigkeiten wurden getrennt nach der Verwendung für die Erdarbeiten bzw. für erdstatische Berechnungen angegeben.

Die angetroffenen Grundwasserleiter sind hier oberflächennahe wasserführende Sandschichten / -bänder oder Sandlinsen (siehe Abschnitt 6.4). Da an verschiedenen Stellen in der Ausbaustrecke, insbesondere auch in Los 1, Wasseraustritte aus den Kanalböschungen beobachtet wurden, wird eine weitergehende Erkundung der Wasseraustrittsstellen im Rahmen der Ausführungsplanung empfohlen. Im Bereich zwischen etwa Kkm 87,2 und Kkm 87,9 sind augenscheinlich mehrere große ehemalige Geländebrüche in den Böschungen vorhanden.

2 Veranlassung und Aufgabenstellung

Zur Anpassung der engen Kurven und der geringen Querschnittsbreite der Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals zwischen Königsförde und Kiel-Holtenau (Kanalkilometer [Kkm] 80 bis 94) an die Zunahme des Schiffsverkehrs und die Veränderung der Flottenstruktur plant das Wasser- und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau als Träger des Vorhabens den Ausbau des Kanals und bereitet das Planfeststellungsverfahren vor.

Die Planungsgesellschaft für Hafenflächenrecycling und Wasserbau mbH (PHW) wurde vom Wasser- und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau beauftragt, ein Baugrundgutachten für die Erdarbeiten für Los 1 (Kurve Landwehr mit Fährlandeanlage [Kkm 86,1 bis Kkm 88,5]) zu erstellen. Das vorliegende Baugrundgutachten beinhaltet die Punkte

- Beschreibung der Baugrundverhältnisse aus Alt- und Neuaufschlüssen mit Einteilung der Böden in Homogenbereiche,
- Klassifizierung der Böden für die geplanten Erdarbeiten,
- Festlegung von Bodenkennwerten für die erbohrten Bodenarten,
- Darstellung der Baugrundverhältnisse in kanalparallelen geotechnischen Schnitten und
- Standsicherheitsnachweise für ausgewählte Querschnitte.

Die Gesamtmaßnahme ist in 5 Lose unterteilt. Für die Lose 2 bis 5 der Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals (Kkm 80,0 bis Kkm 84,1 und Kkm 87,5 bis Kkm 92,0) werden gesonderte Baugrundgutachten übergeben.

3 Unterlagen

Für die Bearbeitung dieses Gutachtens stehen der PHW die folgenden Unterlagen zur Verfügung. Rechts neben der Unterlagenbenennung ist gegebenenfalls das Übergabedatum der Unterlagen angegeben:

/1/	Vertragsunterlagen (Lagepläne, Zielvariante, NOK-Bohratlas etc.) auf CD-ROM	16.11.2006
/2/	Anweisung über einheitliche Anwendung der Bezugshorizonte am Nord-Ostsee-Kanal vom 01.12.1969	per Email am 01.02.2007
/3/	Digitale Lagepläne und Orthofotos, Kanalachse auf CD-ROM	23.01.2007
/4/	Auszug aus der DBWK, als dwg-Dateien auf CD-ROM	07.03.2007
/5/	Chronologen aus verschiedenen Jahren	
/6/	Peildaten der Kanalsohle als ASCII-Daten	per Email 09.08.2008 bis 21.08.2008

/7/	Digitales Geländemodell als Rasterdaten aus Scannerbefliegungen, Stand: September bis Dezember 2007 (Wasser- und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau)	06.09. bis 26.10.2007
/8/	Gutachten für den Bau eines Ersatzüberganges am Nord-Ostsee-Kanal bei Landwehr, Kkm 86,958, vom 11.02.1974	15.12.2006
/9/	Gutachten über Baugrunduntersuchungen für einen Ersatzübergang bei Landwehr, vom 21.01.1986	15.12.2006
/10/	Tabellen zur Auswertung von Taschenpenetrometertests, Festigkeiten über Drucksondierungen etc. (Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg)	
/11/	Diverse Lagepläne und Bohrprofile (Landesamt für Natur und Umwelt, Flintbek)	11.01. bis 13.02.2007
/12/	196 Bodenproben der Güteklasse 1 – 2 (Sonderproben)	
/13/	978 Bodenproben der Güteklasse 4 – 5 (Becherproben)	
/14/	67 Bodenproben der Güteklasse 2 – 3 (durchgehend gekernte Proben [PVC-Liner])	
/15/	Ausbauzeichnungen zu 9 Grundwassermessstellenausbauten	
/16/	Schichtenverzeichnisse zu 37 Bohrungen (Ivers Brunnenbau GmbH, Osterrönfeld; Nord Bohr und Brunnenbau GmbH, Hamburg; Keller Grundbau GmbH, Bremen; Volckmann Bohrunternehmen GmbH, Hamburg)	
/17/	Sondierprotokolle und ASCII-Datensätze von 43 Drucksondierungen (Keller Grundbau GmbH, Bremen)	
/18/	Im Rahmen von Ortsbegehungen im März 2007 gewonnene Erkenntnisse	

4 Bauwerk

4.1 Gesamtmaßnahme

Die Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals erstreckt sich im Bereich Kkm 80 bis 94 von der Weiche Königsförde bis östlich der Levensauer Hochbrücken. Die Ausbaubereiche sind in folgende 5 Lose unterteilt worden:

- **Los 1 (Kkm 86,1 bis 88,5, Nordseite): Kurve Landwehr mit Fährlandeanlage,**
- Los 2 (Kkm 87,5 bis 91,1, Südseite): Wittenbeker Kurve,
- Los 3 (Kkm 90,5 bis 92,0, Nordseite): Übergang zwischen Wittenbeker Kurve und Weiche Schwartenbek,
- Los 4 (Kkm 82,5 bis 84,1, Nordseite): Kurve Groß-Nordsee,
- Los 5 (Kkm 80,0 bis 82,5, Nordseite): Gerade Königsförde.

Der planmäßige Wasserstand beträgt in der Kanalstrecke NN –0,2 m, die Wassertiefe 11 m (entsprechend einer Kanalsohle in der Tiefe NN –11,2 m). Die Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals hat planmäßig die seit 1914 bestehende Sohlbreite von 44 m, eine Böschungsneigung bis 5 m Wassertiefe (entsprechend NN –5,2 m) von 1:2,25, anschließend bis zur Sohle eine Neigung von 1:3. Die Kurvenradien betragen zwischen 1.400 m und 3.000 m.

Im Bereich der Oststrecke des Nord-Ostsee-Kanals sollen das Kanalprofil auf eine Sohlbreite von 70 m erweitert und die Kurvenradien in den Kurveninnenseiten zwischen Königsförde und Schwartenbek auf 3.000 m angepasst werden. Die Unterwasserböschung wird unter einer Neigung von 1:3 ausgebildet und erhält in der Uferlinie ein neues Deckwerk bis etwa 2 m Wassertiefe. Landseitig vom neuen Deckwerk ist auf einer Höhenkote von etwa NN +1,5 m auf einer 5 m breiten Berme ein Betriebsweg vorgesehen. Der Anschluss des Kanalquerschnitts an das vorhandene Geländeprofil ist mit einer Böschungsneigung von in der Regel 1:2 geplant.

4.2 Los 1

Der Abtragsbereich im Los 1 liegt etwa zwischen Kanalkilometer Kkm 86,1 und Kkm 88,5 auf der Nordseite des NOK (Kurve Landwehr mit Fährlandeanlage). Die Lage des Abtragsbereichs Los 1 ist den Anlagen 1 und 2 zu entnehmen.

Zwischen Kkm 86,65 und Kkm 86,825 befindet sich im Abtragsbereich der nördliche Anleger der Fährlandeanlage Landwehr. Östlich der Fährlandeanlage befindet sich bei Kkm 86,915 Wohnbebauung knapp außerhalb des Abtragsbereichs. Der restliche Teil des Abtragsbereichs wird landwirtschaftlich genutzt (z.B. als Weide- und Ackerflächen).

Eine langgezogene ehemalige Kippstelle für Aushubmaterial früherer Kanalausbauten ist von etwa Kkm 87,4 bis Kkm 88,1 vorhanden.

Im Los 1 ist im Bereich der Wasserlinie ein Betriebsweg vorhanden. Der Betriebsweg liegt etwa bei NN +1,5 m.

Zwischen etwa Kkm 87,2 und Kkm 88,0 sind mehrere sanierte ehemalige Geländebrüche in der Böschung vorhanden.

5 Methodik

5.1 Baugrundaufschlüsse

Zur Beurteilung der Baugrundverhältnisse wurden Aufschlussbohrungen (direkte Aufschlüsse) und Drucksondierungen (indirekte Aufschlüsse) ausgewertet. Im unmittelbaren Abtragsbereich von Los 1 lagen 13 Altaufschlüsse vor. Außerhalb des Abtragsbereichs vorhandene Altaufschlüsse wurden zur Entwicklung des Baugrundmodells herangezogen.

5.1.1 Baugrundaufschlussprogramm

Das Baugrundaufschlussprogramm wurde für die gesamte Ausbaustrecke geplant. Dabei wurde im ersten Schritt ein grobes Raster festgelegt. Die Baugrundaufschlüsse wurden, soweit möglich, in drei diagonal versetzten Reihen

- an der Unterkante der bestehenden Böschung (Bereich Wasserlinie),
- an der Oberkante der bestehenden Böschung und
- an der Oberkante der geplanten Böschung

angeordnet, um mit dem Aufschlussraster eine größtmögliche Fläche zu erfassen. Die Aufschlussabstände in Kanallängsrichtung betragen dabei etwa 300 m innerhalb der Reihen und ca. 100 m zwischen den Reihen (siehe Anlage 2).

An der Oberkante der bestehenden Böschung wurden hauptsächlich Bohrungen angeordnet, aus denen Bodenproben entnommen wurden, während an der Oberkante der geplanten Böschung und im Bereich der Wasserlinie (Betriebsweg) in der Regel Drucksondierungen durchgeführt wurden.

Im zweiten Schritt wurde das Aufschlussraster an Stellen verdichtet, an denen im Rahmen der Ortsbegehungen Besonderheiten festgestellt wurden (z.B. Vernässungen an der Oberfläche, Wasseraustritte aus Böschungen, ehemalige Geländebrüche).

Im dritten Schritt wurde das Raster nach erster Auswertung der Aufschlussergebnisse verdichtet, wenn zwischen den Aufschlüssen offensichtliche Informationslücken hinsichtlich der Schichtverläufe geschlossen werden mussten.

Zur langfristigen Beobachtung der Grundwasserstände wurden Bohrungen (∅ 324 mm) zu Grundwassermessstellen (GWM, Ausbau DN 50 und DN 115) ausgebaut. Die Messstellen wurden außerhalb der Abtragsbereiche, meist etwa 5 m bis 10 m landseitig der geplanten Böschungsoberkante, angeordnet. Die Lage der Grundwassermessstellen wurde bei Ortsbegehungen festgelegt. Ferner wurden weitere Grundwassermessstellen im Bereich von Gebäuden unter anderem zur Beweissicherung erstellt.

Bei der Auswertung von Drucksondierungen werden die Schichtgrenzen über das Reibungsverhältnis ($R_f = f_s / q_c * 100$) ermittelt. Die Drucksondierung stellt ein indirektes Aufschlussverfahren dar, das durch Korrelation zwischen physikalischen Messgrößen und bodenmechanischen Kenngrößen Rückschlüsse auf den Baugrund ermöglicht. Zur Auswertung und Interpretation indirekter Aufschlüsse sind Schlüsselbohrungen erforderlich.

Die Drucksondierungen wurden bei Bedarf auf Grund von Hindernissen mit Bohrungen im Trockenbohrverfahren überbohrt.

Die oberen 2 m unter GOK sind bei der Darstellung der Drucksondierdiagramme (siehe Anlagen 3.39 bis 3.119) ausgespart, weil hier vorgeschachtet wurde und die Sondierergebnisse somit verfälscht dargestellt würden.

Aus bindigen oder organischen Böden wurden aus allen Bohrungen bei jedem Schichtwechsel bzw. bei größeren Schichtstärken, sofern möglich, alle zwei bis drei, zum Teil alle vier Meter Sonderproben mit einem Verfahren der Güteklasse 1 bis 2 gemäß DIN EN ISO 22475-1 entnommen.

Zusätzlich zu den Sonderproben wurden aus den nicht durchgehend gekernten Bohrungen Becherproben mit einem Verfahren der Güteklasse 4 bis 5 gemäß DIN EN ISO 22475-1 entnommen.

Aus den durchgehend gekernten Bohrungen wurden gekernte Proben (PVC-Liner) der Güteklasse 2 bis 3 entnommen.

Bei der Benennung der Aufschlüsse wurde die Aufschlusskategorie vorangestellt (B = Bohrung; GWM = Bohrung mit Grundwassermessstellenausbau; CPT = Spitzendrucksondierung). Die Aufschlüsse der einzelnen Kategorien wurden fortlaufend nummeriert. Abschließend wurde das Jahr der Durchführung angegeben. Zur besseren Übersichtlichkeit wurde im folgenden Text auf die Angabe der Jahreszahl verzichtet. Die Darstellung der Bohrsäulen bzw. Drucksondierdiagramme ist den Anlagen 3.5 bis 3.119 zu entnehmen.

5.1.2 Baugrundaufschlüsse

Zur Erkundung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse wurden im Bereich von Los 1 insgesamt 80 Baugrundaufschlüsse, davon 37 Bohrungen (∅ 273 mm: B 23 bis B 41, B 81 und B 82; ∅ 219 mm [überbohrte Drucksondierung]: CPT 34 Bohrung, CPT 38 Bohrung, CPT 48 Bohrung, CPT 50a Bohrung, CPT 52 Bohrung und CPT 55 Bohrung; ∅ 324 mm: GWM 12 bis GWM 21) und 43 Drucksondierungen (CPT 34b bis CPT 59, CPT 154 bis CPT 163, CPT 166 bis CPT 172) zwischen September 2007 und Februar 2008 durchgeführt.

Die Bohrungen (∅ 324 mm) liegen außerhalb des Abtragsbereichs und wurden mit Ausnahme der GWM 18 als Grundwassermessstellen (DN 115: GWM 12/2, GWM 13, GWM 14b/2, GWM 15, GWM 16/1, GWM 17 und GWM 19 bis GWM 21; ∅ DN 50: GWM 12/1, GWM 114b/1 und GWM 16/2) zur Beobachtung der Wasserverhältnisse ausgebaut.

Zur Kalibrierung der Drucksondierungsergebnisse wurden folgende Schlüsselbohrungen mit einem Abstand von ca. 5 m zum Ansatzpunkt der jeweiligen Drucksondierungen abgeteuft: B 25 / CPT 1, B 27 / CPT 36a, B 29 / CPT 37b, B 30 / CPT 39c, B 31a / CPT 40, B 37a / CPT 44, B 39 / CPT 45b und B 41 / CPT 47.

Außerdem wurden in unmittelbarer Nähe der CPT 34, CPT 38, CPT 48, CPT 50a, CPT 52 und CPT 55 die Bohrungen CPT 34 Bohrung, CPT 38 Bohrung, CPT 48 Bohrung, CPT 50a Bohrung, CPT 52 Bohrung und CPT 55 Bohrung abgeteuft, weil diese die vorgesehene Endteufe nicht erreichten.

In den Anlagen 3.1 bis 3.4 werden die kennzeichnenden Daten der im Los 1 niedergebrachten Aufschlüsse zusammengefasst und die jeweiligen Bohrunternehmen genannt.

Die Position aller Ansatzpunkte wurde geodätisch erfasst und höhenmäßig auf Normalnull (NN) bezogen. Gemäß der Vermessungsdaten liegen die Ansatzpunkte (ohne die im Uferbereich bzw. im Bereich des Fährlandeanlage durchgeführten Aufschlüsse) auf einem Niveau zwischen NN +2,6 m (B 41) bis NN +21,8 m (B 26), im Mittel rund NN +11,9 m. Die im Bereich der Wasserlinie durchgeführten Aufschlüsse bzw. der Fährlandeanlage liegen auf einem Höhenniveau zwischen NN +1,0 m (CPT 59) und NN +2,4 m (B 29), im Mittel NN +1,7 m.

Die Lage der Aufschlüsse des Loses 1 ist dem Lageplan auf Anlage 2 zu entnehmen. Die den Bohrungen entnommenen Bodenproben wurden im bodenmechanischen Labor der PHW bewertet. Gemäß den Angaben in den Schichtenverzeichnissen des Bohrunternehmers, der Bodenprobenbewertung der PHW und den Ergebnissen der bodenmechanischen Versuche sind die Ergebnisse als Bohrprofile höhengerecht auf den Anlagen 3.5 bis 3.38 dargestellt. Die Drucksondierdia-

gramme sind den Anlagen 3.39 bis 3.119 und die Altaufschlüsse den Anlagen 3.120 bis 3.132 zu entnehmen.

5.1.3 Grundwassermessstellenausbau

Im Bereich des Loses 1 wurden 9 Bohrungen zu Grundwassermessstellen ausgebaut (maximale Endteufe NN –7,6 m, GWM 17), drei davon zur Doppelmessstelle zur Messung von getrennten Grundwasserleitern. Die Messstellen GWM 14b und GWM 15 wurden als Unterflurmessstellen und die übrigen Messstellen im Los 1 als Überflurmessstellen ausgebaut. Für die Voll- und Filterrohre wurde ein Durchmesser von DN 115 bzw. DN 50 (für den höherliegenden Pegel bei Doppelmessstellen) gewählt. Im oberen Bereich wurden die Messstellen mit einem Schutzrohr (DN 150) versehen. Als Abschluss wurden 6"-Kappen bzw. 3"-Kappen (für den höherliegenden Pegel bei Doppelmessstellen) installiert. Nach Fertigstellung wurden die Grundwassermessstellen mit einem Betonring vor Beschädigungen geschützt.

5.1.4 Probenentnahmen

Insgesamt wurden aus den Neuaufschlüssen im Los 1 von den Bohrunternehmern folgende Proben entnommen:

- 196 Sonderproben der Güteklasse 1 bis 2
- 67 gekernte Proben (PVC-Liner) der Güteklasse 2 bis 3
- 978 Becherproben der Güteklasse 4 bis 5

5.2 Bodenmechanische Versuche

Zur Ermittlung von Bodenkennwerten / Klassifizierung der Böden wurden die nachfolgend tabellierten bodenmechanischen Laborversuche durchgeführt:

Tabelle 1: Bodenmechanische Laborversuche (aktuelle Baugrunderkundung)

Laborversuch	Probe	Anlage
Korngrößenverteilung nach DIN 18123 (Trockensiebungen, kombinierte Sieb-Schlämm-Analysen und Nasssiebungen)	alle Böden außer Torf	6.1, 6.3, 6.4: Tabellen; 7.1 bis 7.59: Körnungslinien
Wassergehalt w nach DIN 18121-1	alle Sonderproben	3.5 bis 3.38: Bohrprofile 6.1, 6.2, 6.4: Tabellen
Anfangsscherfestigkeit c_u (Scherfestigkeit des undränierten Bodens)	mittels Taschenpenetrometer: alle Sonderproben	6.1, 6.2, 6.4: Tabellen
Scherfestigkeit, dreiaxialer Scherversuch, mit Porenwasserdruckmessung Typ CU nach DIN 18137	bindige Böden	6.4: Tabellen
Zustandsgrenzen (Fließ- und Ausrollgrenze) w_l / W_p nach DIN 18122	bindige Böden	6.1, 6.4: Tabellen
Glühverlust nach DIN 18128	organische Böden und Sande mit organischen Beimengungen	6.1, 6.2: Tabellen
Kalkgehalt nach DIN 18129	kalkhaltige Böden	6.1, 6.4: Tabellen
Wasseraufnahmevermögen nach DIN 18132	bindige Böden	6.4: Tabellen
Dichtebestimmung nach DIN 18125	bindige Böden	6.4: Tabellen

In der Auswertung der Laborversuche wurden nur die unmittelbar das Los 1 betreffenden Ergebnisse berücksichtigt (siehe Abschnitt 6.2).

5.3 Benennung bindiger Bodenschichten

Bei der Beschreibung der bindigen Bodenschichten wird neben der genetischen Benennung abweichend von der DIN EN ISO 14688-1 die kornanalytische Zusammensetzung genannt und an den Bohrprofilen angegeben (siehe Anlagen 3.5 bis 3.38). Auf diese Weise können die Korngrößenanteile bei allen Böden anhand der Benennung abgeschätzt werden. Die plastischen Eigenschaften der Böden werden insbesondere bei den Bodenklassifizierungen nach DIN 18196, DIN 18300 und DIN 18311 berücksichtigt.

5.4 Bewertung der Festigkeit aus Drucksondierergebnissen

Die Drucksondierungen wurden neben der Ermittlung der Schichtenverläufe auch hinsichtlich der Festigkeiten ausgewertet.

Mit Festigkeit wird hier die summarische Eigenschaft eines nichtbindigen Bodens bezeichnet, die durch seine Lagerungsdichte, Korngröße und Kornrauhigkeit gekennzeichnet ist und sich in der Größe des Steifemoduls E_S sowie des Reibungswinkels φ' äußert. Dabei wird in Anlehnung an DIN 4094-1, Anhang D, von dem in nachfolgender Tabelle 2 angegebenen Zusammenhang zwischen dem Sondierergebnis, der Größe des charakteristischen Reibungswinkels φ', des Steifemoduls E_S und der Benennung der Festigkeit ausgegangen.

Tabelle 2: Bewertung der Sondierergebnisse für nichtbindige Böden

Spitzenwiderstand q_c in MN/m²	Charakteristischer Reibungswinkel φ' in °	Steifemoduls E_S in MN/m²	Benennung der Festigkeit
< 2	< 30,0	< 15	sehr gering
2 - 6	30,0 - 35,0	15 - 50	gering
6 - 11	35,0 - 37,5	50 - 80	mittel
11 - 19	37,5 - 40,0	80 - 100	groß
> 19	> 40,0	> 100	sehr groß

5.5 Bestimmung der Konsistenz

Zur Bestimmung der Konsistenz wurde neben der manuellen Prüfmethode im Sinne der zurückgezogenen DIN 4022-1 die Anfangsscherfestigkeit c_u beurteilt. Die Anfangsscherfestigkeit wurde an allen Sonderproben mittels Taschenpenetrometer bestimmt.

Die Beziehung zwischen manueller Prüfmethode / Anfangsscherfestigkeit und Konsistenz ist nachfolgend tabelliert:

Tabelle 3: Ermittlung und Benennung der Konsistenz

Manuelle Konsistenzprüfung im Sinne der zurückgezogenen DIN 4022-1	Anfangsscherfestigkeit c_u in kN/m²	Benennung der Konsistenz
Boden, der beim Pressen in der Faust zwischen den Fingern durchquillt	< 20	breiig
Boden, der sich leicht kneten lässt	20 - 60	weich

Manuelle Konsistenzprüfung im Sinne der zurückgezogenen DIN 4022-1	Anfangsscherfestigkeit c_u in kN/m²	Benennung der Konsistenz
Boden, der sich schwer kneten, aber in der Hand zu 3 mm dicken Walzen ausrollen lässt, ohne zu reißen oder zu zerbröckeln	60 - 200	steif
Boden, der beim Versuch, ihn zu 3 mm dicken Rollen auszuwalzen, zwar bröckelt und reißt, aber doch noch feucht genug ist, um ihn erneut zu einem Klumpen formen zu können	200 - 600	halbfest
Boden, der sich nicht mehr kneten, sondern nur zerbrechen lässt. Ein nochmaliges Zusammenballen der Einzelteile ist nicht mehr möglich	> 600	fest

5.6 Geografisches Informationssystem / Baugrundmodell

Bereits zu Beginn der Bearbeitung erfolgte die Entwicklung eines Geografischen Informationssystems (GIS) zur Datenhaltung, -analyse und –visualisierung sowie zur Erstellung eines Baugrundmodells in Form von 3D-Unterflächen in Kombination mit einem digitalen Geländemodell (DGM) sowie einem konstruierten Modell der Zielvariante gemäß Planungsstand November 2006 (siehe Unterlage /1/).

Grundlage des GIS bilden Access-Datenbanken, in die alle während des Projektverlaufs anfallenden Daten zum Baugrund eingepflegt wurden:

- Baugrundaufschlussprogramm (Ansatzpunkte der geplanten Aufschlüsse mit allen relevanten Informationen),
- Schichtdaten und Sondierreihen der durchgeführten Aufschlüsse (Lagekoordinaten, Ansatzhöhen, Ausbauten, Wasserstände etc.),
- Bodenmechanische Versuchsergebnisse und Klassifikationen.

Sämtliches Kartenmaterial wurde in georeferenzierter Form in das GIS eingepflegt und kann als Visualisierungsgrundlage verwendet werden:

- Topografische Karten (Raster- und Vektordaten),
- digitale Orthofotos,
- Chronologen,
- Bohrpläne der Altaufschlüsse (Bohratlas, LANU, Altgutachten) und
- Zielvariante.

Aus den erbohrten unteren Schichtgrenzen der definierten Homogenbereiche (siehe Abschnitt 6.2) aus den einzelnen Baugrundaufschlüssen wurden unter Zuhilfenahme einer großen Anzahl von

manuell eingefügten Stützpunkten dreidimensionale Unterflächen der Homogenbereiche entwickelt. Hierbei ist zu beachten, dass die Baugrundinformationen im Modell nur an den Aufschlusspunkten bekannt sind. Die Stützpunkte außerhalb der Aufschlüsse beruhen auf der Entwicklung eines geologischen Modells, das mit Blick auf die Inhomogenität des Baugrundes stellenweise von den tatsächlich angetroffenen Bodenarten abweichen kann und die Genauigkeit nur im Rahmen der vorhandenen Aufschlussdichte zu bewerten ist.

Die Modellierung der 3D-Schichtunterflächen mittels Aufschlüssen und Stützpunkten bewirkt, dass in den daraus generierten Längsschnitten (Anlagen 5.1 bis 5.6) auch an solchen Stellen Änderungen der Schichtenverläufe auftreten können, an denen kein unmittelbarer Aufschluss im Schichtverlauf vorhanden ist.

Die Modellierung der Geländeoberfläche erfolgte durch die Kombination von Scannerbefliegungsdaten des Geländes (Raster 1 m x 1 m) und Peildaten der Kanalsohle zu einem DGM.

Mit dem DGM und den Unterflächen der Homogenbereiche wurden im GIS Profilschnitte generiert (siehe Abschnitt 7.1). Dabei wurde eine Schnittlinie erzeugt und unter Festlegung der Anzahl der zu errechnenden Höhenpunkte der Profilschnitt berechnet. Die Ergebnisse wurden für jede Schichtunterkante sowie für die Geländeoberfläche als Höhenpunkte (je nach festgelegter Anzahl) in MS-Excel exportiert und dort mit einem Überhöhungsfaktor versehen. In Längsprofilen wurde der Faktor 10 gewählt, bei Querprofilen zur weiteren Verwendung für Standsicherheitsberechnungen wurden die bei der Schnitterzeugung generierten Punkte ohne Überhöhung übernommen.

Es ist zu beachten, dass die Homogenbereiche in dem Modell auf Grund der Baugrundschichtung (siehe Abschnitt 6.2) teilweise vereinfacht sind, d.h. geringmächtige Schichten (≤ 2,5 m Mächtigkeit), die nur in einem isolierten Aufschluss angetroffen wurden, wurden in den umgebenden Homogenbereich integriert (z.B. isolierte Sandlinsen in Geschiebemergel). Aus diesem Grund müssen bei der Verwendung der Schnitte für geotechnische Berechnungen auch die Detailinformationen der nahegelegenen Aufschlüsse beachtet werden. Erforderlichenfalls muss eine Bearbeitung des Schnitts bzw. die Formulierung eines Berechnungsschnitts erfolgen.

6 Baugrund

6.1 Baugrundaufbau

Im Bereich des Loses 1 wurden folgende Böden angetroffen:

- **Auffüllungen**
  - bindige Auffüllungen
  - Auffüllungen mit Torf und Mudde (überwiegend bindig)
- **Holozän**
  - Torf und Mudde, örtlich holozäner Schluff
- **Pleistozän**
  - Schmelzwassersand
  - Geschiebemergel (mit Sandlinsen)

Im gesamten Baugrund – besonders jedoch in den Auffüllungen, im Schmelzwassersand und im Geschiebemergel – ist mit **Steinen** zu rechnen, die einzeln, lagenweise oder in Nestern auftreten können.

6.2 Homogenbereiche

Im gesamten Untersuchungsgebiet ist mit wechselnden Bodenverhältnissen zu rechnen. Insbesondere im Bereich der Auffüllungen, aber auch im Bereich der Geschiebemergel und Beckensedimente waren die einzelnen Schichten oft so geringmächtig in ihrer horizontalen und / oder vertikalen Ausdehnung, dass diese in einen Homogenbereich aufgenommen wurden.

Die Einteilung und die Ausprägungen der Homogenbereiche werden im Folgenden beschrieben.

6.2.1 Auffüllungen

In den Abtragsbereichen aller Lose wurden örtlich mächtige Auffüllungen erkundet. Bei diesen Auffüllungen handelt es sich überwiegend um ehemaliges Aushubmaterial, das im Zuge der verschiedenen Erweiterungsphasen z.B. des Eider-Kanals / Schleswig-Holstein-Kanals und des späteren Nord-Ostsee-Kanals seitlich auf die angrenzenden Flächen gebracht wurde. Dabei wurden unter anderem ehemalige Niederungsbereiche sowie andere Senken und Mulden aufgehöht und angeglichen.

Im Abtragsbereich von Los 1 wurden in größeren Mächtigkeiten aufgefüllte Böden und gewachsene sowie umgelagerte Mutterböden erkundet, die im Homogenbereich Auffüllungen als überwiegend bindige Auffüllungen und Auffüllungen mit Torf und Mudde zusammengefasst werden.

Im Bereich des Betriebsweges sind sehr geringmächtige Auffüllungen auf einem schmalen Streifen als Unterbau bzw. im Bereich der Versorgungsleitungen vorhanden, die auf Grund ihrer geringen seitlichen Ausdehnung in den Längsschnitten (Anlagen 5.4 bis 5.6) nicht berücksichtigt werden können.

Die erbohrten Mächtigkeiten der Auffüllungen liegen im Abtragsbereich von Los 1 zwischen d = 0,1 m (GWM 17) und d = 13,5 m (B 35), im Mittel d = 2,9 m.

Kornanalytisch handelt es sich bei den Auffüllungen einerseits hauptsächlich um bindige Auffüllungen, meist umgelagerte Geschiebemergel, die örtlich mit nichtbindigen Bereichen durchsetzt sind (siehe Abbildung 1). Gemäß der repräsentativen Bodenproben wurden stark schluffige, schwach tonige, schwach kiesige Sande und stark sandige Schluffe mit wechselnden Tonanteilen erkundet, die örtlich mit organischem Material durchsetzt sein können.

Im Bereich von Kkm 87,4 bis Kkm 88,1 (ehemalige Kippstelle) sind in die bindigen Auffüllungen auch - zum Teil sehr mächtige - umgelagerte Torfe und Mudden (Mächtigkeit bis zu d = 7 m [GWM 20]) eingelagert. Diese Auffüllungen wechselnder Zusammensetzung sind auf frühere Kanalausbauten zurückzuführen und wurden in den Anlagen 5.2 und 5.3 von den übrigen Auffüllungen getrennt als bindige Auffüllungen mit Torf und Mudde dargestellt. Insbesondere hier sind früher große Geländebrüche in der Böschung aufgetreten, so dass für diese Auffüllungen auch gesonderte Bodenkennwerte angegeben werden (siehe Abschnitt 6.3). Weitere Hinweise zu diesem Kippstellenbereich sind Abschnitt 7.3 zu entnehmen.

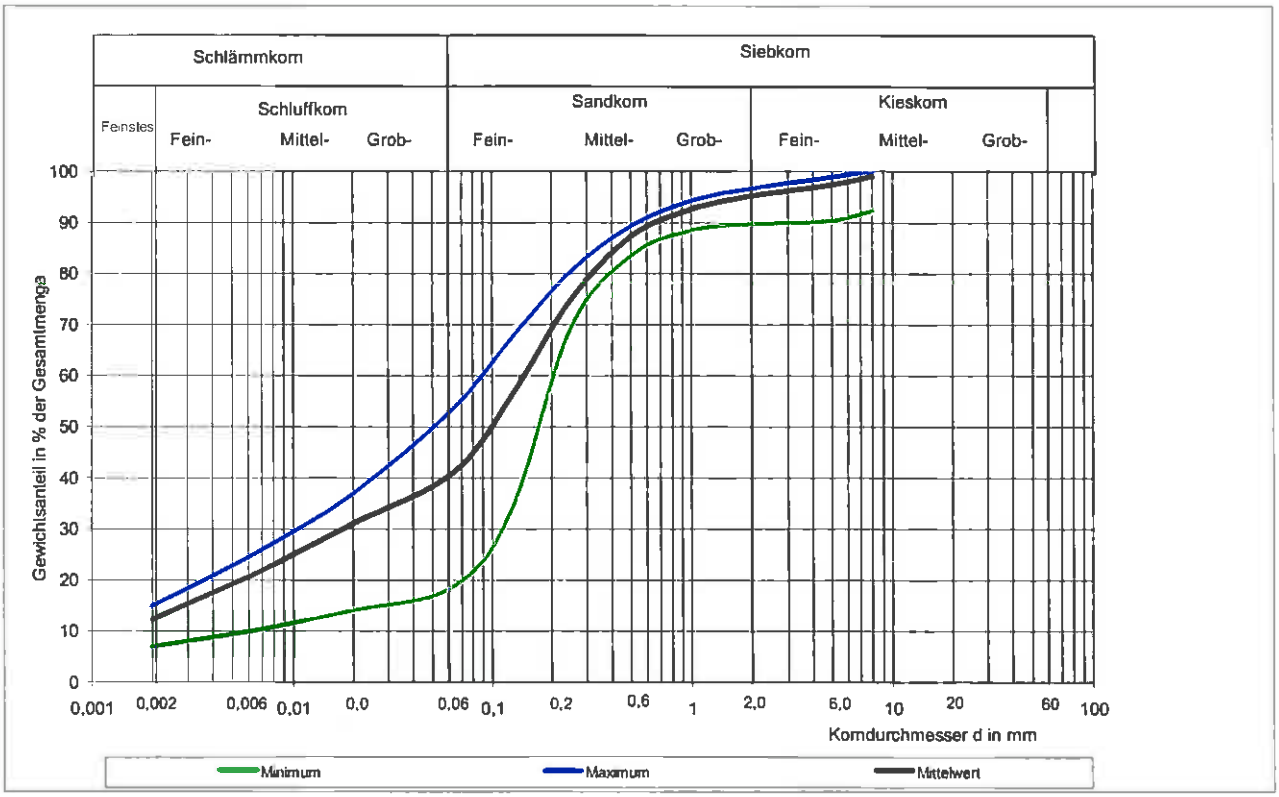

Abbildung 1: Kornsummenband der bindigen Auffüllungen (aus 8 Körnungslinien)

Die gemessenen Anfangsscherfestigkeiten (Mittelwerte aus Einzelmessungen) der bindigen Auffüllungen liegen zwischen c_u = 25 kN/m² und c_u = 115 kN/m², Spitzenwert bei c_u = 130 kN/m², (Mittelwert: c_u = 61 kN/m²). Damit sind diese Auffüllungen vorwiegend weicher bis steifer Konsistenz (siehe Anlagen 5.1 bis 5.3 und Abbildung 2). In den umgelagerten Torfen und Mudden wurden an 2 Proben die Anfangsscherfestigkeiten (Mittelwerte aus Einzelmessungen) zwischen c_u = 88 kN/m² und c_u = 113 kN/m² bestimmt. Danach und nach manueller Ansprache sind die Auffüllungen mit Torf und Mudde von weicher bis steifer Zustandsform.

Die Wassergehalte liegen bei den überwiegend bindigen Auffüllungen zwischen w = 13,1% und w = 25,5% (Mittelwert w = 16,0%) und bei den Auffüllungen mit Torf und Mudde bei w = 18,7% bis w = 155,0%, im Mittel w = 70,9%.

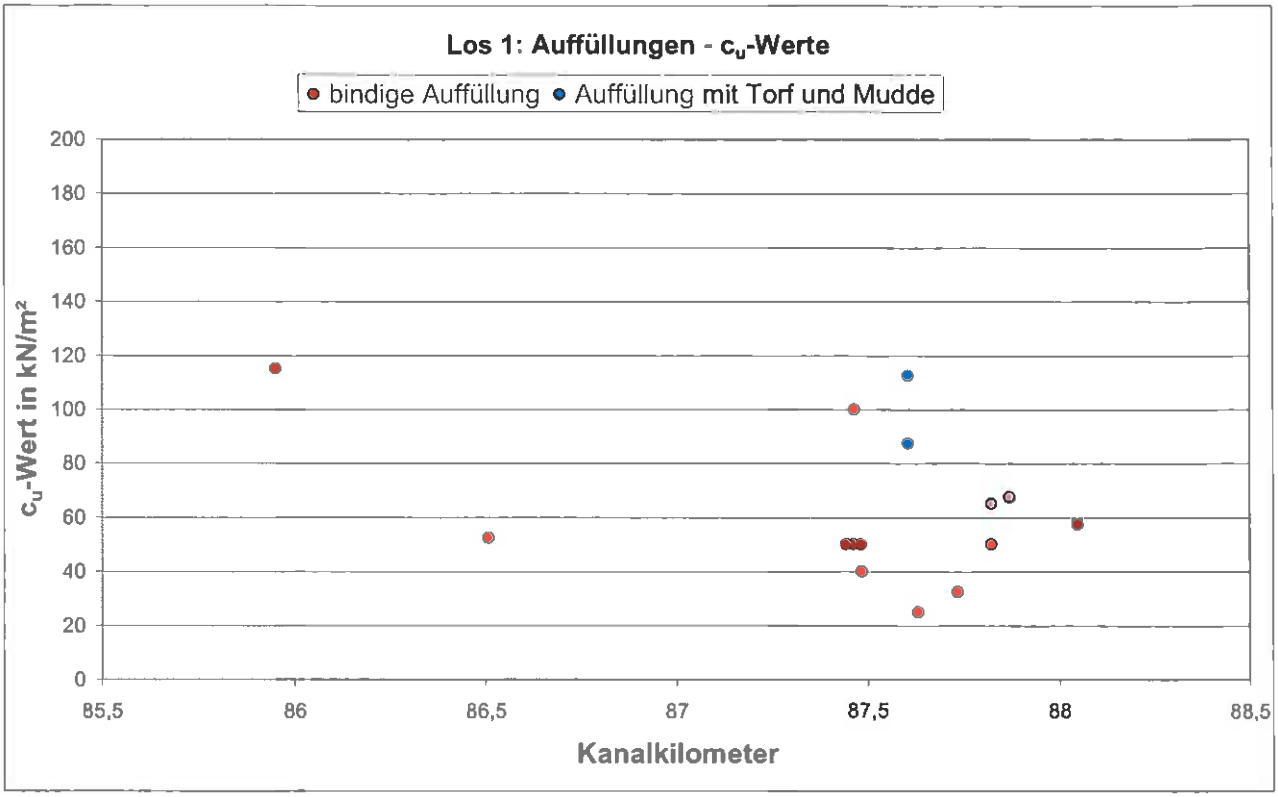

Abbildung 2: Anfangsscherfestigkeiten der Auffüllungen (Mittelwerte)

Die Wassergehalte an der Fließgrenze wurden an 2 Proben der Auffüllungen aus umgelagertem Geschiebemergel mit w_L = 17,8% und w_L = 17,9% bestimmt. Damit sind die beprobten Auffüllungen als leichtplastisch einzustufen.

Der Glühverlust der überwiegend <u>bindigen Auffüllungen</u> liegt zwischen v_{gl} = 1,2% und v_{gl} = 8,6% (B 39), im Mittel v_{gl} = 3,4%, d.h. die Böden sind überwiegend schwach organisch. In den <u>Auffüllungen mit Torf und Mudde</u> (B 33 bis B 39), sind auch stark organische Bereiche vorhanden. In diesen Auffüllungen wurden Glühverluste von v_{gl} = 9,9% bis v_{gl} = 40,7%, im Mittel v_{gl} = 26,3% bestimmt.

Die Kalkgehalte wurden an 3 Proben mit umgelagertem Geschiebemergel zwischen v_{ca} = 19,2% und v_{ca} = 25,3% (Mittelwert v_{ca} = 21,5%) bestimmt.

In den Aufschlüssen B 34 und B 37 / B 37a wurden in den Auffüllungen anthropogene Beimengungen erkundet. In allen Auffüllungen ist mit **<u>Steinen</u>** und zum Teil mit Fremdstoffen (z.B. Ziegelresten) zu rechnen.

6.2.2 Torf und Mudde

Torfe und Mudden kommen im Los 1 örtlich vor. Da Torf und Mudde hier in der Regel fließend ineinander übergehen und insbesondere in den Drucksondierung nicht eindeutig trennbar sind, wurden sie in den Längsschnitten (Anlagen 5.1 bis 5.3 und 5.6) zusammengefasst. Die Torfe und Mudden erreichen Mächtigkeiten von bis zu d = 7,3 m (CPT 157), wobei die Torfe den mengenmäßig größeren Anteil haben und die Mudden mit Torf durchsetzt sind. Nach manueller Ansprache handelt es sich bei den Mudden um Schluffe mit wechselnden Sand- und Tonanteilen.

Die Anfangsscherfestigkeiten des Torfes (Mittelwerte aus Einzelmessungen) wurden mit c_u = 55 kN/m² und c_u = 63 kN/m² und die der Mudde mit c_u = 68 kN/m² und c_u = 88 kN/m² (Spitzenwert: c_u = 100 kN/m²) bestimmt. Damit sind die Torfe und Mudden von <u>weicher bis steifer</u> Zustandsform.

In den Torfen und Mudden wurden Glühverluste von v_{gl} = 8,5% bis v_{gl} = 55,5%, im Mittel v_{gl} = 26,4% bestimmt.

Die Wassergehalte liegen bei der Mudde bei w = 33,2% bis w = 133,6% und beim Torf zwischen w = 82,8% und w = 243,0%.

Im westlichen Bereich des Loses 1 (ab etwa Kkm 86,2 westwärts) gehen die Torfe und Mudden seitlich in geringmächtigen holozänen Schluff (maximal 1,0 m [GWM 12]) über (siehe Anlage 5.1). Nach manueller Ansprache handelt es sich dabei vorwiegend um Schluff mit wechselnden Sand- und Tonanteilen sowie örtlich geringen organischen Bestandteilen.

6.2.3 Schmelzwassersand

Der Schmelzwassersand ist kornanalytisch überwiegend als Mittelsand mit sehr unterschiedlichen Anteilen an Feinsand, Grobsand und Kies, teilweise auch als schluffiger Sand oder sandiger Kies einzustufen. Die Schluffanteile des Schmelzwassersandes liegen meist unter 5%, stellenweise jedoch auch deutlich darüber, und nehmen in Übergangsbereichen zum Geschiebemergel örtlich zu.

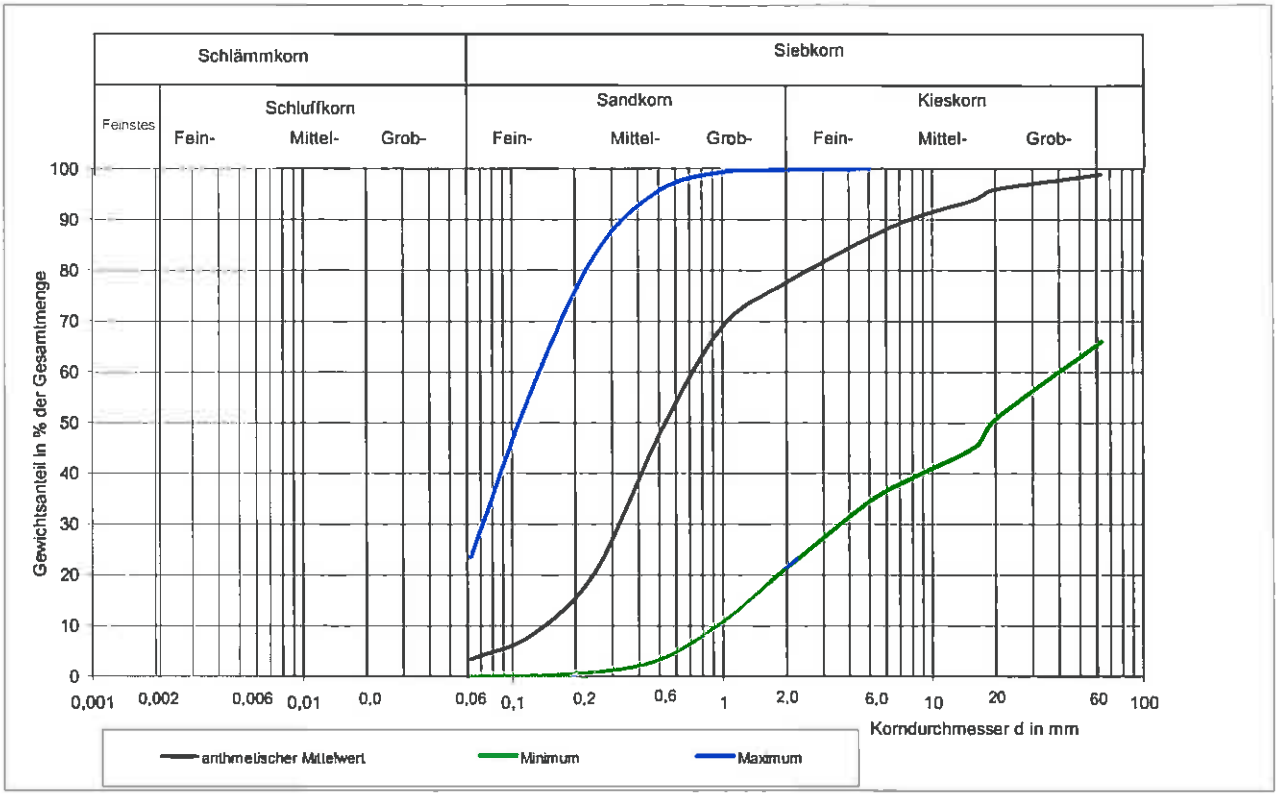

Abbildung 3: Kornsummenband Schmelzwassersand (aus 30 Körnungslinien)

Die Ungleichförmigkeitszahl der **Sande** liegt zwischen U = 1,8 und U = 5,6 (im Mittel U = 3,1). Die Krümmungszahl variiert zwischen C_c = 0,9 und C_c = 1,6 (im Mittel C_c = 1,1). Somit handelt es sich häufig um <u>enggestufte</u> Sande. Bei den Sand-Kies-Gemischen und / oder **Kiesen** liegt die Ungleichförmigkeitszahl zwischen U = 3,7 und U = 54,3 (im Mittel U = 19,9). Die Krümmungszahl wurde mit C_c = 0,3 bis C_c = 1,5 (im Mittel C_c = 0,8) bestimmt, so dass es sich hierbei meist um <u>eng-</u> oder <u>intermittierend</u>, seltener um <u>weitgestuften</u> Kies handelt. Zum Teil kommen schluffige Sande mit Feinkornanteilen von über 10% vor.

Die Drucksondierungen weisen oberhalb der Höhe der Kanalsohle (NN –11,2 m) in den nichtbindigen Schichten Spitzenwiderstände zwischen q_c = 2 MN/m² und q_c = 53 MN/m², im Mittel q_c = 19 MN/m² auf, was nach Tabelle 2 <u>geringer bis sehr großer</u>, im Mittel <u>großer bis sehr großer</u> Festigkeit entspricht.

In den Schmelzwassersanden ist mit **<u>Steinen</u>** zu rechnen. Örtlich sind einzelne Geschiebemergellagen nicht auszuschließen (z.B. CPT 48 Bohrung und CPT 52 Bohrung).

6.2.4 Geschiebemergel (mit Sandlinsen)

Der Geschiebemergel nimmt den größten Anteil der angetroffenen Böden ein. Charakteristisch ist das häufige Vorkommen von **Sandlinsen und -lagen** unterschiedlicher Mächtigkeiten.

Kornanalytisch stellt der Geschiebemergel einen meist schluffigen bis stark schluffigen, schwach tonigen bis tonigen, schwach kiesigen Sand dar. Überall im Geschiebemergel und auch oberhalb des Geschiebemergels ist mit **Steinen** zu rechnen, die einzeln, lagenweise oder in Nestern auftreten können.

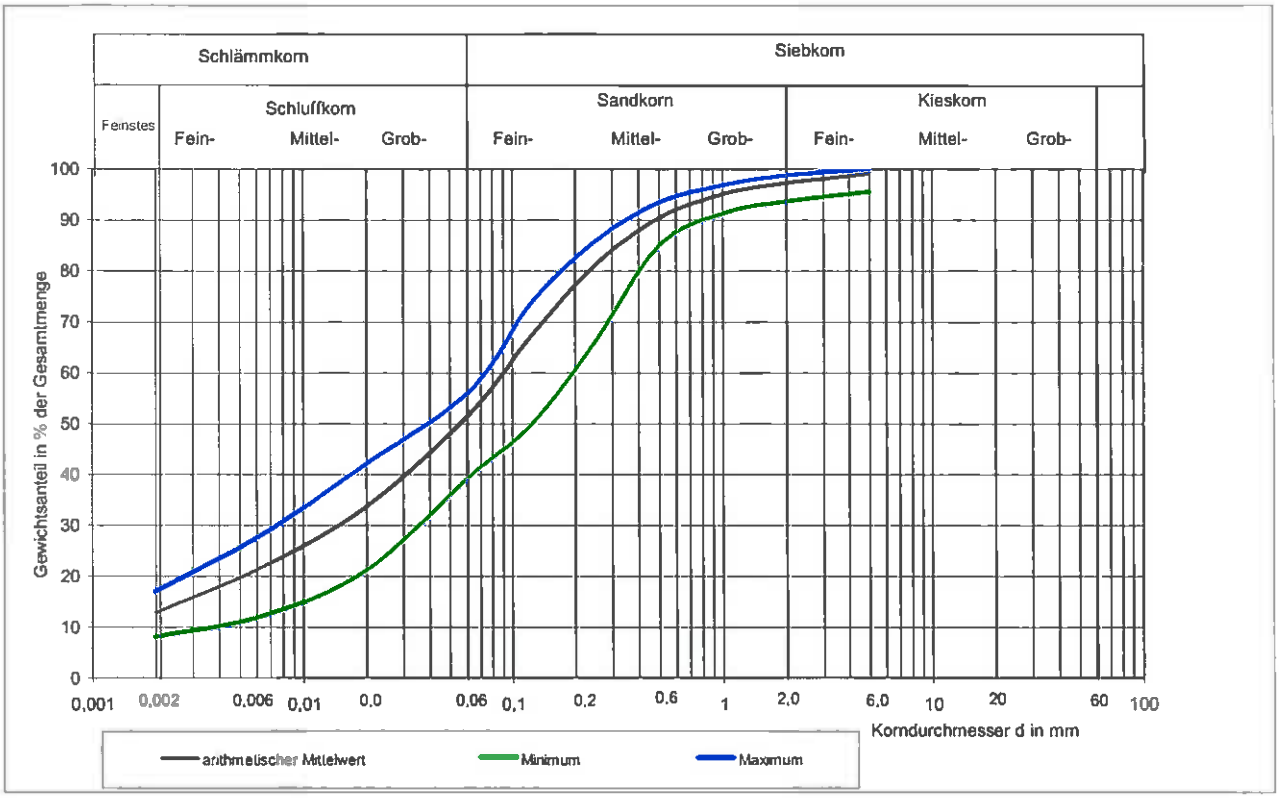

Abbildung 4: Kornsummenband Geschiebemergel (aus 20 Körnungslinien)

Die Wassergehalte des Geschiebemergels liegen zwischen w = 8,4% und w = 22,8%, im Mittel bei w = 12,3%.

Der Geschiebemergel ist mit gemessenen Anfangsscherfestigkeiten (Mittelwerte bis zur Tiefe der Kanalsohle [NN -11,2 m]) zwischen c_u = 13 kN/m² und c_u = 750 kN/m, Spitzenwert bei c_u = 800 kN/m², (Mittelwert: rd. c_u = 121 kN/m²) als breiig bis fest, überwiegend steif einzustufen.

Zudem ist in Übergangsbereichen zum Schmelzwassersand örtlich mit einer Aufweichung des Geschiebemergels zu rechnen, so dass der Geschiebemergel in diesen Bereichen eine überwiegend weiche Konsistenz aufweist.

Die Verteilung der c_u-Werte über die Strecke des Loses 1 bis zur Tiefe der Kanalsohle (NN -11,2 m) ist auf der Abbildung 5 dargestellt.

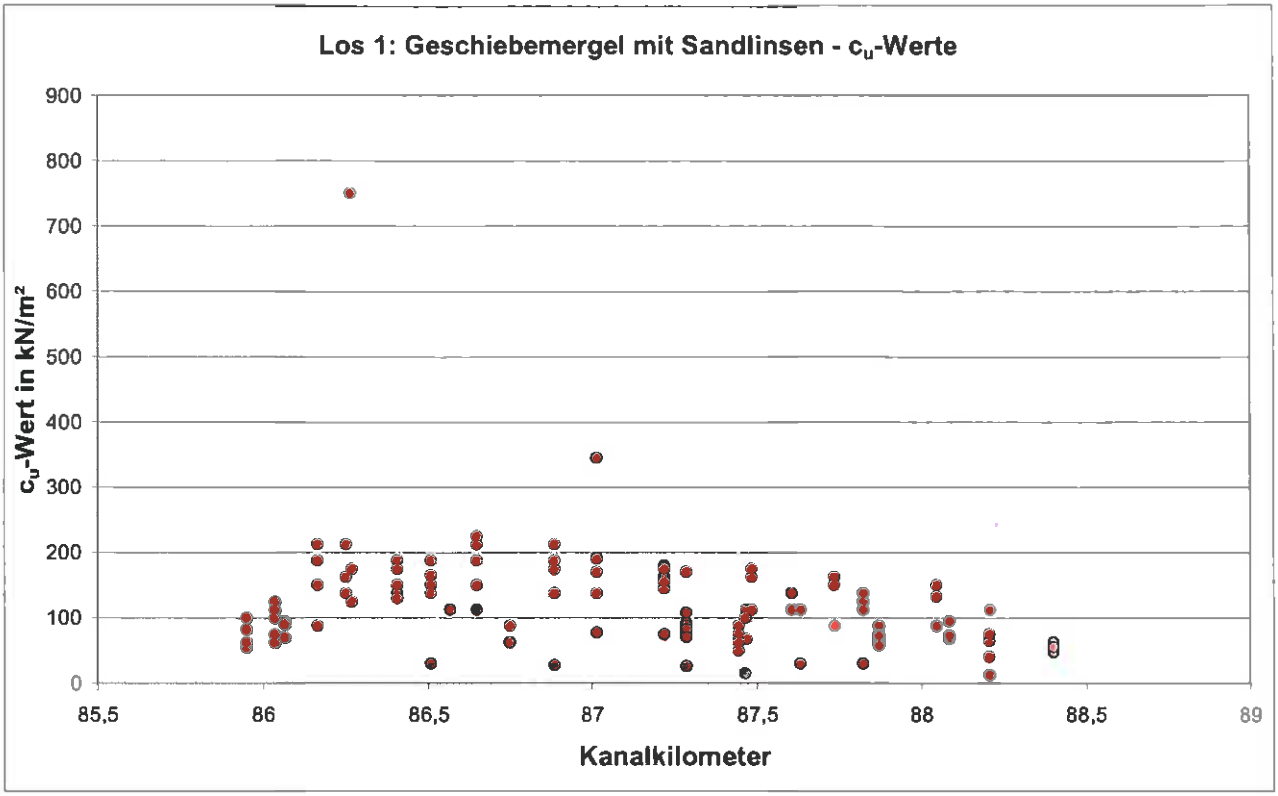

Abbildung 5: Anfangsscherfestigkeiten Geschiebemergel bis NN –11,2 m (Mittelwerte)

Die Endscherfestigkeit wurde an einer Probe aus der Bohrung B 37 mit $\varphi' = 33°$ und $c' = 5$ kN/m² ermittelt.

Die Wassergehalte an der Fließgrenze wurden mit $w_L = 16{,}2\%$ bis $w_L = 23{,}1\%$, im Mittel $w_L = 18{,}3\%$, bestimmt. In der Regel wurde der Geschiebemergel als leicht plastisch eingestuft.

Die Kalkgehalte liegen zwischen $v_{ca} = 17{,}6\%$ und $v_{ca} = 28{,}9\%$ (Mittelwert $v_{ca} = 20{,}6\%$).

Untergeordnet in zwei Aufschlüssen wurden im Abtragsbereich des Loses 1 Beckensedimente nur (B 25 und B 39) als sandige **Beckenschluffe / -tone** erkundet. Da diese Vorkommen nach dem Erkundungsergebnis punktuell sind, weit auseinander liegen und zudem unterhalb der geplanten maximalen Aushubtiefe von NN -11,2 m (Kanalsohle) liegen, werden sie dem Homogenbereich Geschiebemergel zugeschlagen. Die gemessene Anfangsscherfestigkeit liegt im Mittel der Einzelwerte bei $c_u = 100$ kN/m², was einer steifen Konsistenz, analog zum Geschiebemergel, entspricht.

6.3 Bodenkennwerte

Nach den Ergebnissen der Laborversuche (Klassifizierungsversuche), der kornanalytischen Bodenprobenbewertung, den Angaben in den Schichtenverzeichnissen sowie den Erfahrungen der PHW mit vergleichbaren Böden können für erdstatische Berechnungen in Los 1 die im Folgenden angegebenen charakteristischen Bodenkennwerte zugrunde gelegt werden. Zur Ermittlung der empfohlenen Kennwerte wurden nachrangig auch die Ergebnisse aus den anderen Losen hinzugezogen.

Bei Berechnungen nach dem Sicherheitskonzept nach EAU 2004 bzw. DIN 1054: 2005-01 (mit Berichtigung 4: 2008-10) sind die jeweils angegebenen Teilsicherheitsbeiwerte zu berücksichtigen.

Bei der Angabe der c_u-Werte für die bindigen Böden werden die Kennwerte für die erdstatischen Berechnungen und für die Erdarbeiten getrennt angegeben.

Bei der Angabe der Klassifizierungen sind die untergeordnet vertretenen bzw. weitere für die entsprechende Bodenart typische Klassen in Klammern gesetzt.

Tabelle 4: Bodenkennwerte (Los 1)

Homogen-bereich	Wichte in kN/m³		Steifemodul E_S in MN/m²	Anfangsscherfestigkeit c_u in kN/m²		Endscherfestigkeit		Durchlässigkeitsbeiwert	Bodenklassifizierung nach DIN		
	γ	γ'		für Erdarbeiten	für erdstatische Berechnungen	φ' in °	c' in kN/m²	k in m/s	18196	18300	18311
Auffüllung, überwiegend bindig	20	10	10	25 bis 130	30	28	3	$1 * 10^{-5}$ bis $1 * 10^{-8}$ i.M. $5 * 10^{-6}$	[UL], [SU*], ([SU], A, [OU])	1, 4, 5, (6)	BOB2, S1 bis S3
Auffüllung mit Torf und Mudde (überwiegend bindig)	16	6	1	25 bis 130	25	17,5	3	$1 * 10^{-7}$ bis $1 * 10^{-8}$ i.M. $5 * 10^{-8}$	mit Torf: [HN], [HZ], ([UL], [SU*], A) mit Mudde: [OU], ([SU*], [UL] [F], A)	2, 4, (3)	BOB2, S1 bis S3
Torf und Mudde	12	2	1	25 bis 100	35	17,5	5	$1 * 10^{-7}$ bis $1 * 10^{-8}$ i.M. $5 * 10^{-8}$	Torf: HN, (HZ) Mudde: OU, (F)	2, 4, (3)	BOB2, (BOB1)
Schmelzwassersand	19	11	60	---	---	36	0	$1 * 10^{-2}$ bis $1 * 10^{-5}$ i.M. $5 * 10^{-4}$	SE, GI, GE, GW, SU, (SU*, SI, SW)	3, (4, 5)	NB1, NB3, NB5, (NB2, NB4), S1 bis S3
Geschiebemergel mit Sandlinsen	22	12	20	30 bis 250 örtlich 800	50	32,5	2	$1 * 10^{-5}$ bis $1 * 10^{-8}$ i.M. $5 * 10^{-6}$	UL, SU*, (SU, SE)	4 bis 6, (3)	BOB2, (BOB1, BOB3, BOB4, NB1), S1 bis S3

6.4 Grundwasser

Bei den hier angetroffenen Grundwasserleitern handelt es sich um quartäre oberflächennahe wasserführende Sandschichten / -bänder oder Sandlinsen. Die Hauptaquifere liegen in größeren Tiefen, vermutlich tertiären Sanden, und wurden nicht erbohrt.

Meist wurden auch in Bohrungen, in denen keine zusammenhängenden nichtbindigen Schichten erbohrt wurden, die bindigen Schichten (in der Regel Geschiebemergel) verfiltert, da auch hier meist wasserführende Bänder vorliegen. Damit sollen die sich hier gegebenenfalls mit der Zeit einstellenden Wasserstände erkundet werden.

Die Erstaufnahme der Messstellen erfolgte manuell mittels Lichtlot im Zeitraum vom 22.01.2008 bis 29.01.2008. Die Ergebnisse sind der folgenden Tabelle 5 zu entnehmen:

Tabelle 5: Erstaufnahme der Grundwassermessstellen (22.01.2008 bis 29.01.2008)

Messstelle	Pegel	Pegeloberkante in NN + m	Filterstrecke in NN + m	Wasserstand in m unter Pegelober-kante	Wasserstand in NN + m
GWM 12	1	10,60	-1,60 bis -2,60	8,92	1,68
GWM 12	2	10,90	-4,60 bis -5,60	9,15	1,75
GWM 13	1	8,50	-3,50 bis -5,50	1,89	6,61
GWM 14b	1	6,40	-0,70 bis -1,70	5,51	0,89
GWM 14b	2	6,40	-4,40 bis -6,40	4,88	1,52
GWM 15	1	11,20	-3,70 bis -5,70	10,73	0,47
GWM 16	1	3,30	-4,90 bis -5,90	1,51	1,79
GWM 16	2	2,90	-0,10 bis -2,10	1,46	1,44
GWM 17	1	20,80	-5,60 bis -7,60	19,07	1,73
GWM 19	1	14,10	-3,80 bis -5,80	6,84	7,26
GWM 20	1	14,60	-2,90 bis –4,90	7,00	7,60
GWM 21	1	8,60	-3,40 bis -5,40	2,35	6,25

Bei den in Tabelle 5 angegebenen Werte handelt es sich um die Wasserstände, die nach der Fertigstellung der Grundwassermessstellen in der Erstaufnahme gemessen wurden. Für weitere Auswertungen werden zusätzliche Messungen empfohlen.

7 Auswertungen

7.1 Längs- und Querschnitte

Die auf der Grundlage der Baugrundaufschlüsse und dem daraus entwickelten Baugrundmodell (siehe Abschnitt 5.6) generierten und bearbeiteten Längsschnitte sind auf den Anlagen 5.1 bis 5.6 dargestellt. In den Längsschnitten verlaufen die Schnittführungen wegen der Innenkurve nicht durch die Kanalachse, so dass keine exakte Zuordnung zur Kanalkilometrierung vorhanden ist. Somit können zwischen den Kanalkilometerangaben in den Längsschnitten keine exakten Stationierungen eingemessen werden. Die Abweichungen sind jedoch vergleichsweise gering.

Querprofile sind den Geländebruchberechnungen (siehe Abschnitt 7.3 und Anlagen 8.1 bis 8.15) zu entnehmen.

7.2 Bodenklassifizierungen für Erd- und Nassbaggerarbeiten

Die Klassifizierung der Böden für die Erd- und Nassbaggerarbeiten erfolgt nach DIN 18300 (2006-10) bzw. DIN 18311 (2006-10). Dabei erfolgt die Klassifizierung nach der Lösbarkeit der Böden.

Nach der neuen DIN 18311 (2006-10) erfolgt die Einstufung in Bodenklassen

- für bindige und organische Böden nach ihrer undränierten Scherfestigkeit c_u und nach ihrer Konsistenz (BOB1 bis BOB4),
- für nichtbindige Böden nach ihren Anteilen an Kies und Feinkorn (NB1 bis NB5),
- mit Angabe von Zusatzklassen bei Vorkommen von Steinen und Blöcken (S1 bis S3).

Die Klassifizierungen sind in Abschnitt 6.3 und Anlagen 6.1 bis 6.4 genannt.

7.3 Geländebruchberechnungen

Die Geländebruchberechnungen wurden nach dem Teilsicherheitskonzept durchgeführt. Die Böschungsgleitkreise und die Ausnutzungsgrade μ wurden nach DIN V 4084-100 und DIN 1054:2005-01 mit der Formel von BISHOP (Lamellenverfahren) mittels EDV (GGU-Stability, Version 8.16) berechnet. Durch Variation der Gleitkreismittelpunkte und -radien wird der ungünstigste und somit maßgebende Gleitkreis mit dem dazugehörigen Ausnutzungsgrad μ berechnet.

Bei der Geländebruchberechnung wird der Bruchmechanismus im Grenzgleichgewichtszustand untersucht. Nach der Sicherheitsdefinition des Teilsicherheitskonzeptes werden dabei die Einwirkungen (z.B. Lasten und Wichten) und die Widerstände (z.B. Baugrundreaktionen, Scherfestigkeiten) erhöht bzw. vermindert. Der Ausnutzungsgrad μ gibt den erreichten Ausnutzungsgrad für das rechnerische Grenzgleichgewicht des Bruchmechanismus an. Ist die Böschung mit Berück-

sichtigung der Teilsicherheiten genau im (zulässigen) Grenzgleichgewicht, beträgt der Ausnutzungsgrad $\mu = 1$. Bei Überschreitung des Ausnutzungsgrades $\mu = 1$ ist die Geländebruchsicherheit nicht ausreichend.

7.3.1 Auswahl der Berechnungsschnitte

Die Geländebruchberechnungen wurden anhand von 9 Schnitten durchgeführt.

Der Schnitt bei Kkm 86,915 (Anlage 8.3) wurde auf Grund der dort landseitig der geplanten Böschung vorhandenen Wohnbebauung gewählt (siehe Anlage 4). Die Schnitte bei Kkm 87,455 (Anlagen 8.7 und 8.8), Kkm 87,620 (Anlagen 8.9 und 8.10), Kkm 87,730 (Anlagen 8.11 und 8.12), Kkm 88,210 (Anlagen 8.13 und 8.14) und Kkm 88,410 (Anlage 8.15) wurden wegen der in diesem Bereich anstehenden Torfe und Mudden bzw. der mächtigen Auffüllungen u.a. aus Torf und Mudde sowie wegen der zwischen etwa Kkm 87,2 und Kkm 87,9 vorhandenen ehemaligen Geländebrüche gewählt. Zur Dokumentation der zwischenliegenden Abschnitte des Loses 1 wurden bei Kkm 86,170 (Anlagen 8.1 und 8.2), Kkm 87,095 (Anlage 8.4) und Kkm 87,220 (Anlagen 8.5 und 8.6) weitere Berechnungsschnitte festgelegt.

7.3.2 Berechnungsbodenmodelle

Für die Geländebruchberechnungen wurden anhand der aus dem Baugrundmodell generierten Querschnitte unter Zuhilfenahme der nächsten Baugrundprofile Berechnungsschnitte erstellt.

Die Sickerlinie in der Böschung wurde in die Berechnungen zunächst - weit auf der sicheren Seite liegend – horizontal in Höhe des nächst gemessenen Grundwasserstandes bis zur Kanalböschung und dann der Kanalböschung folgend eingeführt. Sofern dieser Ansatz zu Überschreitungen des zulässigen Ausnutzungsgrades führte, wurde ein zweiter Berechnungsgang mit dem Sickerlinienansatz „linear zum Kanal abfallend" durchgeführt. Dieser Ansatz ist im Rahmen der Ausführungsplanung zu überprüfen.

7.3.3 Berechnungsergebnisse der Geländebruchberechnungen

Es wurde jeweils der Lastfall LF 1 mit der Beanspruchung GZ 1C (Grenzzustand des Verlustes der Gesamtstandsicherheit gemäß DIN 1054: 2005-01) berechnet.

Als Verkehrslasten wurden auf dem Betriebsweg 23 kN/m² (entsprechend etwa der Ersatzflächenlast eines 40-t-LKW) und auf der Böschungsoberkante 5 kN/m² in die Berechnungen eingeführt.

Tabelle 6: Ergebnisse der Geländebruchberechnungen

Berechnungs-schnitt	Anlage	Ausnutzungsgrad μ (Sickerlinien horizontal)	Ausnutzungsgrad μ (Sickerlinie abfallend)
Kkm 86,170	8.1 und 8.2	1,42	0,88
Kkm 86,915	8.3	0,89	---
Kkm 87,095	8.4	0,88	---
Kkm 87,220	8.5 und 8.6	1,45	0,81
Kkm 87,455	8.7 und 8.8	1,66	1,19
Kkm 87,620	8.9 und 8.10	2,38	1,47
Kkm 87,730	8.11 und 8.12	1,68	1,16
Kkm 88,210	8.13 und 8.14	1,03	0,73
Kkm 88,410	8.15	0,71	---

7.3.4 Bewertung der Berechnungsergebnisse der Geländebruchberechnungen

Nach den Ergebnissen der Geländebruchberechnungen sind die geplanten Kanalböschungsabschnitte im Fall einer horizontal verlaufenden Sickerlinie in 6 von 9 Berechnungsschnitten nicht ausreichend geländebruchsicher. Bei Kkm 86,915, Kkm 87,095 und Kkm 88,410 wurden, jeweils unter Grundwasseransatz der nächstliegenden Messstelle (Messzeitraum 22.01.2008 bis 29.01.2008), Ausnutzungsgrade von $\mu < 1$ berechnet und damit die ausreichende Sicherheit gegen Geländebruch nachgewiesen.

Unter anderen in den Schnitten zwischen Kkm 87,455 (Anlage 8.8) und 87,730 (Anlage 8.12) wurden auch für den Fall einer zum Kanal abfallenden Porenwasserdrucklinie nicht ausreichende Sicherheiten gegen Geländebruch ermittelt (siehe Fotos in Abbildung 6). Im Bereich zwischen etwa Kkm 87,2 und Kkm 87,9 sind mehrere große ehemalige Geländebrüche in den Böschungen vorhanden. Die PHW empfiehlt, diesen Bereich im Rahmen der Ausführungsplanung besonders zu betrachten, um auch die Frage potentieller großräumiger Brüche bzw. Rutschungen zu klären, die nach der Geländetopografie nordwestlich der Geländebrüche zu vermuten ist (siehe Abbildung 6). Hinweise zum betroffenen Bereich ergeben sich auch aus den hier erkundeten Baugrundverhältnissen, die durch gering scherfeste und zum Teil wasserstauende Torfe und Mudden geprägt sind.

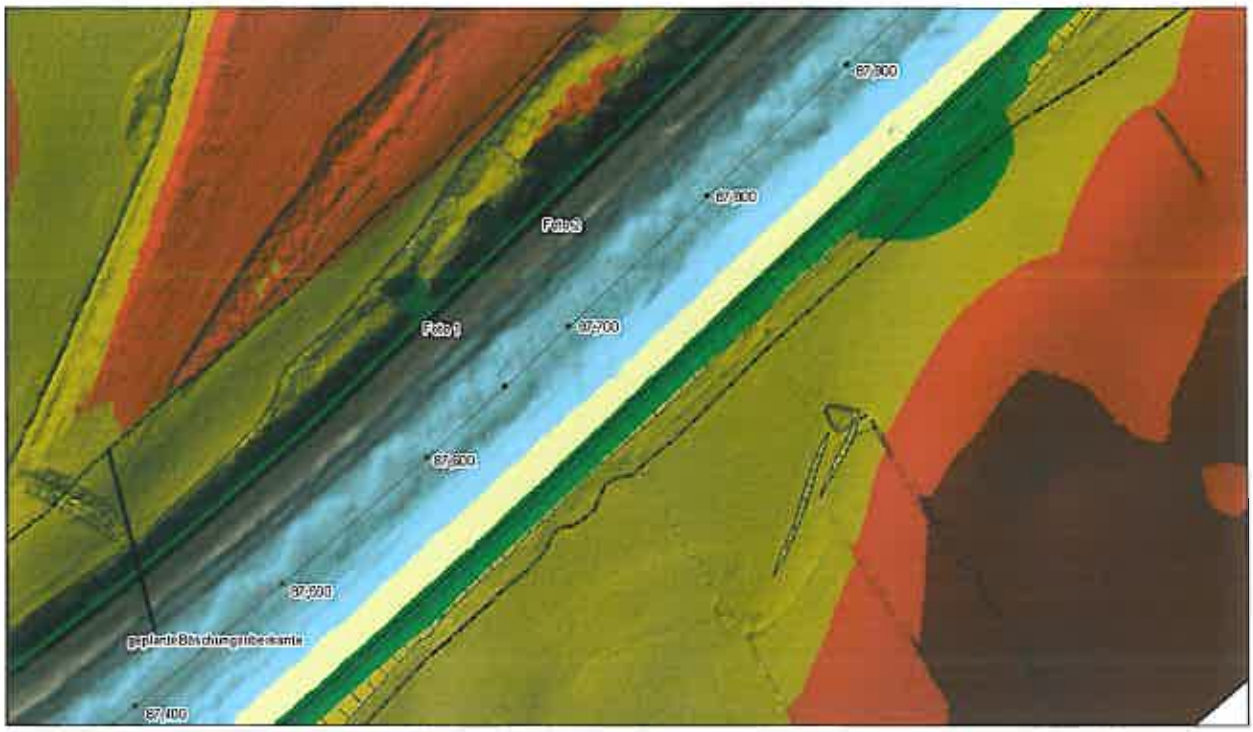

Foto 1

Foto 2

Abbildung 6: Frühere Geländebrüche (Beispiele)

Auch in den anderen Abschnitten sind Böschungen mit Neigungen steiler als 1:2,5 in der Regel für oberflächennahe Gleitkreise nicht standsicher („lokale" Geländebrüche). Daher sind die geplanten Böschungen nach Fertigstellung umgehend zu begrünen und durch geeignete bautechnische Maßnahmen (z.B. Auflastfilter) zu sichern. Die Planung dieser Maßnahmen ist unter anderem Gegenstand der Ausführungsplanung.

Es sei zudem an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass auf der gesamten Ausbaustrecke stellenweise Wasseraustritte aus der Kanalböschung beobachtet wurden. Die PHW empfiehlt, diese Stellen lagemäßig und quantitativ zu erkunden und die daraus gewonnenen Erkenntnisse in der Ausführungsplanung zu berücksichtigen.

PHW
Planer für Hafenflächenrecycling und Wasserbau

Sachbearbeiter:

Schild

Petereit

Verteiler:

WSA Kiel-Holtenau, Herr Brockmann 3-fach