

SuedLink

BBPIG-Vorhaben 3, HGÜ-Verbindung Brunsbüttel - Großgartach
BBPIG-Vorhaben 4, HGÜ-Verbindung Wilster - Bergrheinfeld/West
Leitung-Nr.: LH-16-10001 / LH-16-10002

Vorhabenträger:



Ersteller:



ILF Beratende Ingenieure GmbH:
Werner-Eckert-Straße 7
81829 München

DokumentenzahlNr.: A100-ILF-002047-MA-DE

Planfeststellung

**Planfeststellungsabschnitt A2
von km 0+000 bis 8+589**

Unterlagen nach § 21 NABEG

PLANÄNDERUNG I

**Teil L01.1
Geotechnische Untersuchungen - Trasse**

00	28.06.2022	Unterlage nach § 21 NABEG	Pordzik	Kerndter	Rieder
01	27.01.2023	Deckblatt I	Pordzik	Kerndter	Pfeiffer
02	11.05.2023	Deckblatt II	Pordzik	Kerndter	Pfeiffer
03	31.03.2026	PLANÄNDERUNG I	Heuberg-Hinckel	Zwinger	Bruchmann
Vers.	Datum	Ausgabe	Erstellt	Geprüft	Freigegeben

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Tabellenverzeichnis.....	3
Abbildungsverzeichnis.....	5
Anhang- und Anlagenverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis.....	6
1 Einleitung	7
1.1 SuedLink	7
1.2 Einordnung der Unterlage	7
1.3 Inhalt und Zweck des Dokuments.....	7
2 Verwendete Unterlagen.....	9
3 Kurzbeschreibung zum geplanten Erdkabel/ Bauwerk.....	10
4 Beschreibung der örtlichen Gegebenheiten.....	13
4.1 Ortsbesichtigung	13
4.2 Topographische Gegebenheiten	17
4.3 Kampfmittel	19
4.4 Vorhandene Leitungen	19
4.5 Geologie und Georisiken	20
4.6 Pedologie	23
4.7 Archäologie	25
4.8 Abfalltechnische Risiken	26
4.9 Vorherige Baugrunderkundungen.....	26
4.10 Hydrologie.....	26
4.11 Hydrogeologie	27
4.12 Hochwasserrisiko	27
5 Baugrunderkundung und geotechnischen Kategorie	28
5.1 Generell – Aufschlüsse	28
5.2 Lage der Aufschlüsse.....	28
5.3 Beschreibung der durchgeführten Felduntersuchungen	29
5.4 Grundwassermessstellen	30
5.5 Laboruntersuchungen	30
5.5.1 Bodenmechanische Laboruntersuchungen.....	30
5.5.2 Bodenkundliche Laboruntersuchungen.....	30
5.5.3 Laboruntersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit.....	31
5.5.4 Chemisch-analytische Laboruntersuchungen	31

6	Baugrundbeschreibung	32
6.1	Beschreibung des Schichtenaufbaus	32
6.2	Angetroffene Schichten	32
6.2.1	Oberboden	32
6.2.2	Auffüllung	33
6.2.3	Klei	33
6.3	Zusammenfassung der charakteristischen Baugrundkenngößen	40
6.4	Grundwasserbeobachtungen	40
6.5	Bemessungswasserstände.....	43
6.6	Ergebnisse der Untersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit	44
6.7	Ergebnisse chemisch-analytischer Untersuchungen	47
7	Festlegung von Homogenbereichen.....	51
8	Überprüfung der Geotechnischen Kategorie.....	55
9	Folgerungen, Empfehlungen und Hinweise	56
9.1	Hinweise für die Bauausführung und geotechnische Entwurfsbearbeitung.....	56
9.2	Überschlägliche Sicherheitsnachweise	59
9.3	Setzungen und Setzungsunterschiede	60
9.4	Wasserhaltung	60
10	Bewertung der Untersuchungsergebnisse und ggf. Empfehlung für weitere Erkundungsarbeiten.....	61
11	Verzeichnisse	62
11.1	Literaturverzeichnis	62
11.2	Quellenverzeichnis der Bezugsregelwerke.....	63

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht	11
Tabelle 2: Übersicht der Leitungsbetreiber / Eigentümer im PFA A2	20
Tabelle 3: Betrachtete Altbohrung der Bohrdatenbank Schleswig-Holstein.....	26
Tabelle 4: Vorläufige Einordnung in die geotechnische Kategorie	28
Tabelle 5: Allgemeine Lage	29
Tabelle 6: Lage der Aufschlüsse	29
Tabelle 7: Anzahl betrachteter Kornverteilungen und Zustandsgrenzen	30
Tabelle 8: Anzahl betrachteter Wassergehalte, Glühverluste, Kalkgehalt	30
Tabelle 9: Anzahl betrachteter Proben für LAGA TR Boden und PASS.....	31
Tabelle 10: Mächtigkeit der Kleischicht.....	33
Tabelle 11: Ergebnisse und Auswertung CPT-U Klei.....	33

Tabelle 12: Ergebnisse Laborversuche Klei.....	34
Tabelle 13: Ergebnisse Kornverteilung Klei	35
Tabelle 14: Charakteristische Bodenkennwerte Klei	36
Tabelle 15: Mächtigkeit der Torfschicht	36
Tabelle 16: Ergebnisse und Auswertung CPT-U Torf	37
Tabelle 17: Ergebnisse Laborversuche Torf	37
Tabelle 18: Charakteristische Bodenkennwerte Torf	38
Tabelle 19: Mächtigkeit des Sands	38
Tabelle 20: Ergebnisse und Auswertung CPT-U Sand	39
Tabelle 21: Ergebnisse Laborversuche Sand	39
Tabelle 22: Ergebnisse Kornverteilung Sand	39
Tabelle 23: Charakteristische Bodenkennwerte Sand (SE und SU*)	40
Tabelle 24: Charakteristische Baugrunderkenngrößen	40
Tabelle 25: Grundwassermessstellen Schleswig-Holstein	41
Tabelle 26: Grundwassermessstellen Niedersachsen	42
Tabelle 27: Bemessungswasserstände für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der Sturmflutzeit vom 15.09 bis 30.03	43
Tabelle 28: Bemessungswasserstände für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen und Wassermengen in der sturmflutfreien Zeit vom 01.04 bis 14.09 und für die Setzungsberechnungen.....	44
Tabelle 29: Wärmeleitfähigkeit Torf	46
Tabelle 30: Wärmeleitfähigkeit Klei.....	46
Tabelle 31: Wärmeleitfähigkeit Sand	46
Tabelle 32: Ergebnisse Untersuchung LAGA TR Boden.....	48
Tabelle 33: Auffällige Parameter bei Untersuchung nach LAGA TR Boden	48
Tabelle 34: Versauerungsgefährdung.....	49
Tabelle 35: Zuordnung Homogenbereiche.....	51
Tabelle 36: Eigenschaften und Kennwerte der Baugrunderkennschichten (Homogenbereiche	52
Tabelle 37: Endgültige Einordnung in eine Geotechnische Kategorie.....	55

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung Regelgrabenprofil	14 10
Abbildung 2: Querung 18, Blick Richtung Südwesten, 14.07.2020, Geonovo, SH	13
Abbildung 3: Querung 19, Blick Richtung Norden, 14.03.2019, ILF, SH	14
Abbildung 4: Segment 004 KM 0,0 – 1,0, Blick Richtung Nordosten von Hollerwettern aus, 14.07.2020, Geonovo, SH	15
Abbildung 5: Querung 20, Blick Richtung Nordosten, 13.03.2019, ILF, N	16
Abbildung 6: Segment 004 KM 7,5 - 8,4, Blick Richtung Südwesten von Stader Straße Richtung Schinkelweg, 13.03.2019, ILF, NI	17
Abbildung 7: Übersichtskarte PFA A2 im Bereich Schleswig-Holstein (eigene Darstellung)	18
Abbildung 8: Übersichtskarte PFA A2 im Bereich Niedersachsen (eigene Darstellung)	19
Abbildung 9: Geologische Übersichtskarte A2 (Quelle: geändert nach WebGis)	21
Abbildung 10: Bodenkundliche Übersichtskarte BÜK250 im Abschnitt SH (eigene Darstellung)	24
Abbildung 11: Bodenkundliche Übersichtskarte BK50 im Abschnitt NI (eigene Darstellung)	25

Anhang- und Anlagenverzeichnis

Anlage 01	Geologischer Schnitt
Anlage 02	Übersichtslageplan Schleswig-Holstein
Anlage 03	Übersichtslageplan Niedersachsen

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
BBPlG	Bundesbedarfsplangesetz
BGU	Baugrunduntersuchung
BK	Kernbohrung
BNetzA	Bundesnetzagentur
CPT	Drucksondierung
CPT-U	Drucksondierung mit zusätzlicher Messung des Porenwasserdrucks
DPH	Schwere Rammsondierung
FM	Fernmeldeleitung
GK	Geotechnische Kategorie
GOK	Geländeoberkante
GTEB	Geotechnische Entwurfsberichte
GTUB	Geotechnische Untersuchungsberichte
GWM	Grundwassermessstelle
HDD	Horizontalspülbohrverfahren (engl. Horizontal Directional Drilling)
HGÜ	Hochspannung-Gleichstrom-Übertragung
KRB	Kleinrammbohrung
kV	Kilovolt
LAGA	Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LWL	Lichtwellenleiter
MS	Mittelspannung
NABEG	Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz
NHN	Normalhöhennull
NI	Niedersachsen
NS	Niederspannung
PASS	Potentiell sulfatsaure Böden
PFA	Planfeststellungsabschnitt
SH	Schleswig-Holstein
TW	Trinkwasserleitung

1 Einleitung

1.1 SuedLink

SuedLink ist ein Netzausbauprojekt des Stromübertragungsnetzes, dass als Erdkabelverbindung geplant wird. SuedLink besteht aus je einer Verbindung zwischen Brunsbüttel in Schleswig-Holstein und Großgartach in Baden-Württemberg (diese Verbindung wird in der Anlage zum Bundesbedarfsplangesetz (BBPlG) als „Vorhaben Nr. 3“ geführt) sowie zwischen Wilster in Schleswig-Holstein und Bergheimfeld/West in Bayern (diese Verbindung wird in der Anlage zum BBPlG als „Vorhaben Nr. 4“ geführt). Rechtlich handelt es sich um zwei eigenständige Vorhaben, für die jeweils eigene Anträge auf Planfeststellungsbeschluss gestellt wurden. Die Planfeststellungsverfahren werden für die beiden genannten Vorhaben im Bereich der Stammstrecke verfahrensrechtlich verbunden. SuedLink ist in 15 Planfeststellungsabschnitte unterteilt. Die gegenständliche Unterlage ist Bestandteil der Unterlagen gem. § 21 NABEG zum Planfeststellungsabschnitt A2.

Für weitergehende Informationen zu SuedLink und zum Planfeststellungsverfahren wird auf die Kapitel 0 ff im Teil A1 der Unterlagen gem. § 21 NABEG verwiesen.

1.2 Einordnung der Unterlage

Das vorliegende Dokument „Teil L01.1 – Geotechnische Untersuchungen“ ist Bestandteil der Unterlagen für die Einreichung des Plans und der Unterlagen gem. § 21 NABEG für SuedLink im Planfeststellungsabschnitt A2.

1.3 Inhalt und Zweck des Dokuments

Dieses Dokument beinhaltet eine übergeordnete Darstellung der geotechnischen Untersuchungen, welche im Rahmen der Planung für SuedLink erstellt wurden. Dies umfasst insbesondere eine Zusammenfassung und übergeordnete Beschreibung der im Rahmen der Baugrunduntersuchungen (BGU) vorab erstellten Fachgutachten für offene und geschlossene Bauweisen sowie weitere bauliche Maßnahmen über den gesamten Planfeststellungsabschnitt. Das Dokument beschreibt hierzu den Baugrund und die Grundwasserverhältnisse, die Einstufung in Boden- und Felsklassen, die Einstufung sonstiger Stoffe als auch die Beurteilung des Baugrunds und der Grundwasserverhältnisse.

Die Anforderungen an die Untersuchungen des Baugrundes, sind in DIN 4020:2010-12 „Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke“ festgelegt. In Abschnitt 1 „Anwendungsbereich“ heißt es dort: „Diese Norm ... soll sicherstellen, dass Aufbau, Beschaffenheit und Eigenschaften des Baugrundes bereits für den Entwurf und die Ausschreibung eines Bauvorhabens bekannt sind“. Im Beiblatt zu DIN 4020 wird ergänzend ausgeführt: „Aufgabe der geotechnischen Untersuchung....ist es, die Unsicherheiten der Kenntnis des Baugrunds im Hinblick auf ein Projekt einzugrenzen.“

Baugrunduntersuchungen sind daher zur Gewährleistung der Sicherheit des Bauobjektes, seiner Hilfskonstruktionen (z. B. Baugruben) und seiner Umgebung und damit im baurechtlichen Sinne zur Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit erforderlich. Der Aufbau und die Eigenschaften des Baugrundes müssen daher für die Planung bekannt sein und entsprechend berücksichtigt werden.

Folgende Dokumente weisen Schnittstellen zu dem vorliegenden Dokument auf:

- Unterlage Teil C01 „Technik und Trassierung“

- Unterlage Teil E „Nachweise“ ,
- Unterlage Teil L02.1 „Bodenschutzkonzept - Trasse“ ,
- Unterlage Teil L06.1 „Hydrogeologisches Fachgutachten - Trasse“
- Unterlage Teil L06.2 „Hydrologisches Fachgutachten - Trasse“
- Unterlage Teil L06.3 „Wasserhaltungskonzept - Trasse“
- Unterlage Teil L07 „Unterlage zur Bodendenkmalpflege“
- Unterlage Teil L10 „Abwägungsrelevante sonstige öffentliche und private Belange“.

Die Querung der Elbe selbst ist nicht Bestandteil dieser Unterlage. Diese wird separat in der Unterlage L01.2 - Geotechnische Untersuchungen – ElbX abgehandelt.

2 Verwendete Unterlagen

Nachfolgende Unterlagen wurden als Grundlage für die Erstellung des geotechnischen Gutachtens herangezogen:

- Planunterlagen zum Regelgrabenprofil
- Steckbriefe Tiefbauverfahren
- Untersuchungskonzepte
- Luftbilder
- Planunterlagen zum Trassenverlauf
- Bodenkundliche Karten
- Geologische Karten
- Hydrogeologische Karten
- SuedLink WebGIS
- Ergebnisse Labor
- Ergebnisse Baugrunduntersuchung
- Technik- und Trassierungsbericht

3 Kurzbeschreibung zum geplanten Erdkabel/ Bauwerk

Bei SuedLink kommt ein kunststoffisoliertes Gleichstromerkabel mit einer Spannungsebene von 525 kV zum Einsatz. Üblicherweise werden die Kabel in offener Bauweise verlegt. Bei umwelttechnischen oder bautechnischen Erfordernissen können jedoch auch geschlossene Bauweisen, wie zum Beispiel HDD-Bohrungen, zum Einsatz kommen.

Grundsätzlich werden die HGÜ-Erdkabel im Regelfall mit einer Überdeckung von mindestens 1,30 Metern verlegt. Bei der offenen Verlegung werden die einzelnen Bodenschichten voneinander getrennt ausgehoben und gelagert. Anschließend werden die Kabel in einem Bettungsmaterial oder in einem Schutzrohr in den Kabelgraben eingebracht.

Während der Bauzeit muss neben den Kabelgräben ein Arbeitsstreifen für eine Baustraße und die Lagerung des Erdaushub geschaffen werden. Auf der Stammstrecke (zwei Gräben) wird dazu eine Breite von ca. 40 bis 45 Metern und auf der Normalstrecke (ein Graben) eine Breite von ca. 30 bis 35 Metern benötigt.

Im Betrieb von SuedLink ist dann ein Schutzstreifen von 8 – 12 m Breite auf der Normalstrecke und von 18 - 22 m Breite auf der Stammstrecke erforderlich. Nähere Informationen sind in der Unterlage C01 -Technik und Trassierung enthalten.

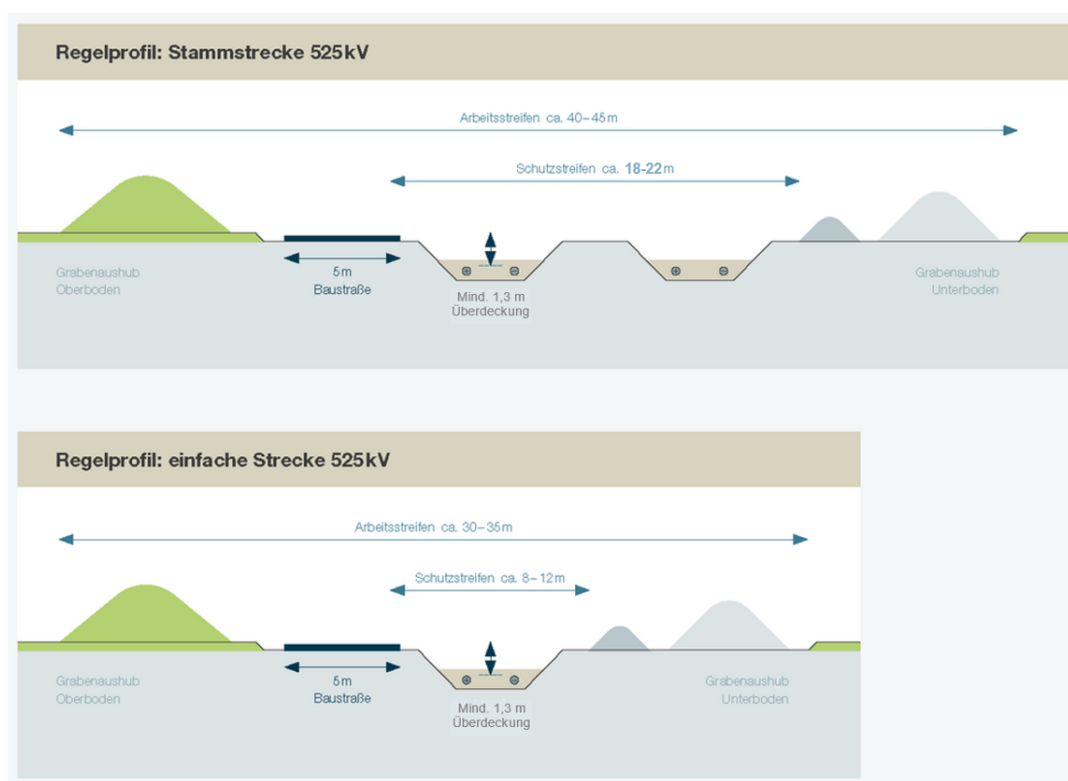


Abbildung 1: Darstellung Regelgrabenprofil (eigene Darstellung)

Bauvorhaben und Einteilung in Bauabschnitte

In den betrachteten Abschnitten des Planfeststellungsabschnittes A2 sind die in der folgenden Tabelle aufgeführten Bauweisen vorgesehen. Die Elbquerung (ElbX) ist nicht Bestandteil der vorliegenden Unterlage.

Tabelle 1: Übersicht

von KM	bis KM	Kreuzungsbezeichnung	Bauweise
A2 0+000	A2 0+080		offene Bauweise mit Schutzrohr
A2 0+080	A2 0+190	Schinkelwettern / B431	geschlossene Bauweise HDD mit Schutzrohr
A2 0+190	A2 0+340		offene Bauweise mit Schutzrohr
A2 0+340	A2 0+385		offene Bauweise (Muffengrube)
A2 0+385	A2 0+410		offene Bauweise mit Schutzrohr
A2 0+410	A2 0+910	Hollerwettern / Straße Hollerwettern / Nassbereich	geschlossene Bauweise HDD mit Schutzrohr
A2 0+910	A2 0+935 0+970		offene Bauweise mit Schutzrohr
A2 0+935	A2 0+950		offene Bauweise (Kabelschubgerät)
A2 0+950	A2 0+970		offene Bauweise mit Schutzrohr
A2 0+970	A2 1+345	Nassbereich	geschlossene Bauweise HDD mit Schutzrohr
A2 1+345	A2 1+360 1+1400		offene Bauweise mit Schutzrohr
A2 1+360	A2 1+370		offene Bauweise (Kabelschubgerät)
A2 1+370	A2 1+400		offene Bauweise mit Schutzrohr
A2 1+400	A2 1+960	Nassbereich	geschlossene Bauweise HDD mit Schutzrohr
A2 1+960	A2 2+060 2+233		offene Bauweise mit Schutzrohr
A2 2+060	A2 2+200		offene Bauweise (BE-Fläche ElbX)
A2 2+200	A2 2+233		offene Bauweise mit Schutzrohr
ElbX – Schachtbauwerk und Tunnel (5,370 m)			
A2 7+603	A2 8+010		offene Bauweise mit Schutzrohr
A2 8+010	A2 8+355		geschlossene Bauweise HDD mit Schutzrohr

von KM	bis KM	Kreuzungsbezeichnung	Bauweise
A2 8+355	A2 8+580 A2 8+859		offene Bauweise mit Schutzrohr
A2 8+580	A2 8+589		offene Bauweise (Kabelschubgerät)

4 Beschreibung der örtlichen Gegebenheiten

4.1 Ortsbesichtigung

Im Zeitraum 2019 bis 2020 fanden durch die Büros ILF Consulting Engineers GmbH und der Geonovo GmbH Ortsbesichtigungen statt, bei denen die folgenden Fotos aufgenommen wurden.

Schleswig-Holstein

In einem Abstand von ca. 800 m östlich des KKW Brokdorf quert die Bundesstraße B437 "Großwisch" den Schloot "Hollerwettern".

Von Dithmarschen / Wilster kommend quert die Trasse zunächst die B431 (Querung 18) und dann, ca. 450 m südlich der B431, den Schloot (Querung 19).

Die Abbildung 2 zeigt den Blick über die Fahrbahn der B431 und den begleitenden, aber durch einen Grünstreifen abgesetzten Fuß- und Radweg, in Richtung Südwesten auf die Feldzufahrt zu Flurstück 4/6.

Die üppige Vegetation von Schilfgräsern beidseitig der Feldzufahrt zeigt die Lage des Straßenseitengrabens noch hinter dem Fuß- und Radweg. Auf der rechten Seite der Abbildung 2 ist noch ein Baum angeschnitten. Dieser Baum ist Teil einer Baumreihe, die sich zwischen Fuß- und Radweg und dem Straßenseitengraben befindet.

Das Gelände ist tafelig flach ohne nennenswerte Morphologie und wird durch Gruppen parallel zum Schloot "Hollerwettern" entwässert.

Am Horizont ist der Deich zur Elbe zu erkennen.



Abbildung 2: Querung 18, Blick Richtung Südwesten, 14.07.2020, Geonovo, SH

Der Schloot schließt sich dann links an, ist aber durch die Perspektive und der Lage im Gelände nicht auf dieser Abbildung zu erkennen.

Die folgende Abbildung 3 zeigt den Schloot "Hollerwetter" am Standort der Querung 19 mit Blick in Richtung Norden.

Am Horizont, ca. mittig der Abbildung, erkennt man durch die dort fahrenden Lkw die Lage der B431 und den Standort der vorherigen Abbildung 2. Abbildung 3 ist somit ein Blick in Gegenrichtung zur Abbildung 2.

Auf der rechten Abbildungsseite ist der Verlauf der Gemeindestraße / des ländlichen Verbindungswegs "Hollerwetter" zu erkennen, der eine Verbindung der B431 mit der Ortschaft "Hollerwetter" am Deich der Elbe darstellt. Hier ist temporär (Stoßzeiten) mit erhöhtem Verkehrsaufkommen durch Anlieger zu rechnen.



Abbildung 3: Querung 19, Blick Richtung Norden, 14.03.2019, ILF, SH

Auch hier wird die Verkehrsfläche wieder durch eine einseitige Baumreihe begleitet.

Diagonal durch die Abbildung 3 verläuft der schnurgerade Lauf des Schloots mit ssw' – nne' Erstreckung.

Die Uferbefestigung (beidseitig) besteht aus Staketen. Eine Verflechtung ist auf dieser Abbildung nicht zu erkennen, unterhalb der Wasserlinie aber anzunehmen.

Das in der Beschreibung zur Abbildung 2 tafelig ebene beschriebene Gelände fällt zum Schloot rasch ab, wodurch sich eine kissenartige Wölbung darstellt.

Das Flurstück 4/6 ist eine landwirtschaftliche Nutzfläche mit dichter Vegetationsbedeckung aus Gräsern. Eine vorwiegende Nutzung als Wiese und Weide ist anzunehmen.



Abbildung 4: Segment 004 KM 0,0 – 1,0, Blick Richtung Nordosten von Hollerwettern aus, 14.07.2020, Geonovo, SH

Die Abbildung 4 bestätigt die Aussagen zu den zuvor beschriebenen Abbildungen.

Sie zeigt eine ausgedehnte Grünfläche als landwirtschaftliche Nutzfläche in Funktion einer Wiese. Durch das Fehlen einer Umzäunung, insbesondere eines Gatters zur Verkehrsfläche am Standort der Aufnahme, ist eine Nutzung als Weide zu verneinen.

Die Vegetationsfläche aus Gräsern ist dicht und üppig. Auf der Abbildung sind lineare Senken in der Grünfläche zu erkennen, die auf die Entwässerung durch Gräben hindeutet.

In der Feldzufahrt wurde Schotter aus Recyclingmaterial eingebaut. Links der Feldzufahrt schließt sich ein Seitengraben an, der aber bis auf die Basisfläche mit Gras bedeckt ist und somit nur temporär Wasser sammelt und ableitet.

Das Vorhandensein höherer Vegetation (Büsche und Bäume) beschränkt sich auf die Seitenstreifen von Verkehrsflächen und Siedlungsflächen (Umrandung von Einzelgehöften und Ortschaften).

Niedersachsen

Nach Querung der Elbe erreicht die Kabeltrasse das Gebiet von Niedersachsen. In der Region des "Alten Lands", einem ausgedehnten Obstanbaugebiet.

In einem Abstand von ca. 3.400 m südöstlich des Fleckens Freiburg (Elbe) quert die Trasse die Landesstraße L111 "Stader Straße", unmittelbar nordwestlich von Schloß Holenwisch, einem Gutshaus aus dem Jahr 1914, das von einem 1 ha großen Park umgeben wird.

Die Abbildung 5 zeigt den Blick über die Fahrbahn der L111 "Stader Straße" und Flurstück 52/4 von Flur 6 in Richtung Nordosten auf den Elbedeich.

Die Fahrbahn der L111 befindet sich in Dammlage und hebt sich deutlich über das umgebende Gelände.

Auf der Abbildung 5 ist eine offene Feldmark zu erkennen. Die Flächen werden landwirtschaftlich als Wiesen und Weiden genutzt. Das Gelände ist tafelen und flach. Das einzige morphologische Element besteht in linearen Grüppen zur Entwässerung des Geländes, die sich parallel zur Blickrichtung erstrecken.



Abbildung 5: Querung 20, Blick Richtung Nordosten, 13.03.2019, ILF, N

Zwischen der Fahrbahn der L111 und dem Straßenseitengraben befindet sich eine Aufreihung von Bäumen und Büschen. Auf der Abbildung rechts ist ein kleines Gebäude aus Klinkermauerwerk zu sehen, das sich an einem Graben orthogonal zum Straßenseitengraben anschließt. Dies lässt auf eine Funktion als Pumpenhaus oder Schieberstation schließen.

Die Vegetationsdecke ist hier ebenfalls dicht und besteht aus Gräsern. Eine hochwachsende Vegetation beschränkt sich auch hier auf die Seitenbereiche von Verkehrsflächen (Auf der Abbildung 5 im Hintergrund randlich eines unbefestigten Feldwegs).

Abbildung 5 gibt am gleichen Standort den Blick nach Südwesten in Richtung Schinkelweg und somit dem weiteren Verlauf der Kabeltrasse wieder.

Links auf der Abbildung 6 ist der Baumbestand (westlicher Rand) des bereits erwähnten Parks von Schloß Holenwisch zu erkennen.

Mittig der Abbildung erstreckt sich ein wasserführender Graben in Richtung Südwesten. Im Vordergrund ist eine Feldquerung mit Rohrdurchlass zu sehen. Die landwirtschaftliche Nutzfläche auf der rechten Abbildungsseite wird als Acker genutzt. Auch hier sind wieder lineare Senken zu erkennen, die auf Grüppen zurückgeführt werden können.

Der Baum/Busch-Bestand am Horizont markiert den Verlauf des Schinkelwegs.



Abbildung 6: Segment 004 KM 7,5 - 8,4, Blick Richtung Südwesten von Stader Straße Richtung Schinkelweg, 13.03.2019, ILF, NI

4.2 Topographische Gegebenheiten

Schleswig-Holstein

Das schleswig-holsteinische Untersuchungsgebiet erstreckt sich nördlich der Elbe von der Störmündung bei Störort und Wewelsfleth im Osten über Dodenkopp im Norden bis Brokdorf im Westen. Die südliche Grenze bildet die Elbe.

Das im Hinterland der Elbdeiche liegende Gebiet kennzeichnet sich durch ein gering ausgeprägtes Relief. Die Geländehöhen liegen überwiegend zwischen -1 m NHN und 1 m NHN. Das Gebiet wird über zahlreiche Drainagegräben (Gräben und Gruppen) künstlich entwässert. Eine Übersicht bietet die Abbildung 7.



Abbildung 7: Übersichtskarte PFA A2 im Bereich Schleswig-Holstein (eigene Darstellung)

Niedersachsen

Auf der südlichen Elbseite beginnt das Untersuchungsgebiet ausgehend vom Ziel-schacht des ElbX-Bauwerks ca. 1.700 m nördlich von Hamelwörden. Die Länge des Streckenabschnitts bis zur Grenze der PFAs A2/A3 beträgt nur rund 800 m. Die Geländemorphologie der NI-Marschgebiete unterscheidet sich kaum von den SH-Marschgebieten. Die Geländehöhe liegt hier überwiegend zwischen -1 m NHN und 2 m NHN.

Bei den Flächen handelt es sich überwiegend um landwirtschaftliche Grünland- und Ackerflächen, die über Gruppen und Gräben entwässert werden. Im Bereich von Wohngebäuden ist z. T. starker Baumbewuchs vorhanden. Eine Übersicht bietet die **Abbildung 8**.



Abbildung 8: Übersichtskarte PFA A2 im Bereich Niedersachsen (eigene Darstellung)

4.3 Kampfmittel

Von Kampfmitteln mutmaßlich kontaminierte Bereiche im Trassenverlauf wurden durch Kampfmittelvoranfragen bei Kampfmittelräumdienst Schleswig-Holstein und Niedersachsen erhoben. Zudem wurden Hinweise aus dem bisherigen Genehmigungsverfahren, z. B. aus Stellungnahmen der Träger öffentlicher Belange, berücksichtigt.

In Niedersachsen liegt eine Verdachtsfläche vor. Diese liegt jedoch von der Vorzugstrasse in größerer Entfernung, sodass es im L01.1 nicht weiter betrachtet wird. Die Fläche wird im Dokument Teil C07 der Technik und Trassierung dargestellt.

4.4 Vorhandene Leitungen

Im Bereich des PFA A2 nördlich der Elbe, Schleswig-Holstein zugehörig, werden einige Leitungen gekreuzt. Hierzu gehören Lichtwellenleiter-Kabel (LWL) der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV Bund), Wasserleitungen des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) sowie des Wasserverbandes (WV) Unteres Störgebiet, eine Fernmelde-Leitung der Telekom AG und eine Mittelspannungs-Stromleitung sowie eine Niederspannungs-Stromleitung der Schleswig Holstein Netz AG.

Im südlich der Elbe gelegenen Bereich des PFA A2, der innerhalb Niedersachsens liegt, werden ebenfalls einige Leitungen gekreuzt. Hier liegen zwei Wasserleitungen des Trinkwasserverbandes (TWV) Stader Land, eine Trinkwasserleitung (TW), eine Mittelspannungsleitung (MS) sowie eine Niederspannungsleitung (NS) der EWE NETZ GmbH.

In der folgenden Tabelle 2 werden die vorhandenen Leitungen aufgeführt. Neben diesen werden zudem zahlreiche Gewässer und Straßen bzw. Wege gekreuzt, die jedoch in diesem Kapitel nicht betrachtet werden. Ebenso werden die Leitungen, die

innerhalb der ElbX Kilometrierung liegen, in dem vorliegenden Gutachten nicht erfasst. Eine Auflistung aller Bauwerke, die gekreuzt werden, ist im Dokument C08 (Kreuzungsverzeichnis) einzusehen.

Tabelle 2: Übersicht der Leitungsbetreiber / Eigentümer im PFA A2

Kreuzungspunkt	Bauwerk	Betreiber / Eigentümer
A2 KM 0+141	LWL Kabel	WSV Bund
A2 KM 0+143	FM Leitung	Telekom AG
A2 KM 0+481	LWL Kabel	WSV Bund
A2 KM 0+484	Stromleitung Mittelspannung	Schleswig Holstein Netz AG
A2 KM 0+486	Wasserleitung	OOWV
A2 KM 0+488	Wasserleitung	WV Unteres Störgebiet
A2 KM 2+003	Stromleitung Niederspannung	Schleswig Holstein Netz AG
A2 KM 8+220	TW	EWE NETZ GmbH
A2 KM 8+227	Wasserleitung	TWV Stader Land
A2 KM 8+228	MS	EWE NETZ GmbH
A2 KM 8+228	NS	EWE NETZ GmbH
A2 KM 8+229	Wasserleitung	TWV Stader Land

Die vorstehende Tabelle erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern stellt nur einen Auszug der relevantesten Leitungsbetreiber dar.

4.5 Geologie und Georisiken

Geologie:

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich in den westlichen Teilen von Schleswig-Holstein bis Niedersachsen und ist somit Teil des Norddeutschen Tieflands. Das Norddeutsche Tiefland wird durch Nord- und Ostsee und den Mittelgebirgen eingerahmt.

Geologisch gehört das Untersuchungsgebiet zum Norddeutschen Becken (Teil des Germanischen Beckens) bzw. einem nordeuropäischen Becken, da es sich von England, Belgien bis Polen erstreckt.

Die Basis des Beckens, das heutzutage in einer Tiefe von ca. 5.000 m bis 10.000 m liegt, bilden Ablagerungen des Perms (Rotliegendes und Zechstein). Insbesondere im Zechstein kam es zur Bildung mächtiger Salzschichten, die sich durch wiederholte Meeresvorstöße in verschiedene Zyklen unterscheiden lässt.

In der nachfolgenden Trias lagerten sich auf den Schichten des Zechsteins terrestrische, gröberklastische Sedimente ab, bei denen durch oxidative Bedingungen eine rote Färbung vorherrscht (Buntsandstein). Durch die Auflast der bis zu 1.000 m mächtigen Schichten des Buntsandsteins reagierten die Salzschichten des Zechsteins plastisch, wodurch die Bildung von Salzdomen initiiert wurde.

In den nachfolgenden stratigraphischen Einheiten (Mittlere Trias (Muschelkalk) bis Tertiär) kam es je nach Meeresspiegellage zu weiteren gesteinsbildenden Ablagerungen. Diese Schichten sollen hier aber nicht näher beschrieben werden.

Die Basis des Norddeutschen Beckens mit den Ablagerungen von Anhydrit, Stein- und Kalisalzen aus dem Zechstein wurde hier nur näher vorgestellt, da sich mit der Mobilisierung dieser Evaporite eine Dynamik in dem Boden ergibt, die sich rezent bis zur Oberfläche auswirkt (s.a. Ausführungen zu geologischen Gefahren).

Die Geländeoberfläche in dem Untersuchungsgebiet besteht aus Lockergesteinen des Quartärs (Beginn vor ca. 2,6 Mio. Jahren). Das Quartär wurde durch eine Abfolge von Kalt- und Warmzeiten geprägt.

Von Norden bzw. Nordosten stießen wiederholt Gletscher bis in das Gebiet des westlichen Norddeutschen Beckens vor, so dass sich verschiedene Eisrandlagen differenzieren lassen (Elster-Kaltzeit (Alter: 460.000 – 320.000 Jahre), Saale-Kaltzeit (Alter: 300.000 – 126.000 Jahre) und Weichsel-Kaltzeit (Alter: 115.000 – 10.000 Jahre)).

Je nach Erstreckung der jüngeren Gletscher wurden die älteren Glazialablagerungen direkt überfahren (und dadurch verwischt) bzw. durch periglaziale Prozesse überdeckt.

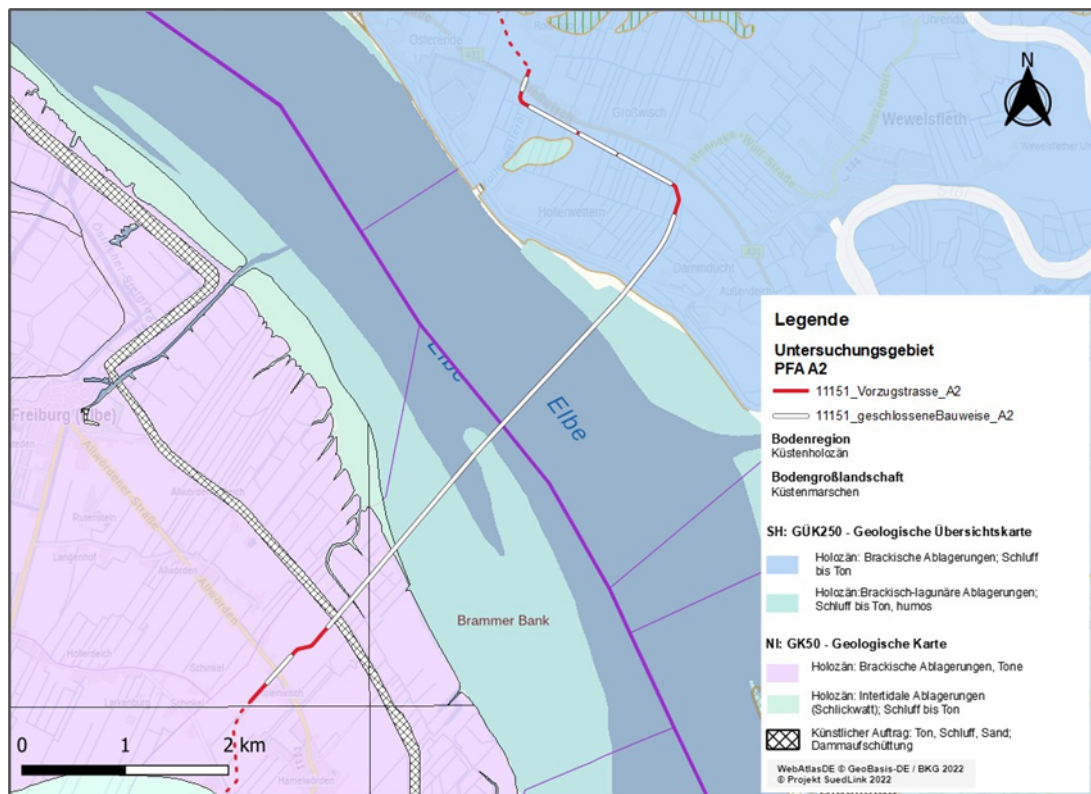


Abbildung 9: Geologische Übersichtskarte A2 (Quelle: geändert nach WebGis)

Bestimmend für das Untersuchungsgebiet sind demnach die Auswirkungen und Ablagerungen der jüngsten Kaltzeit, der Weichsel-Kaltzeit, obwohl hier der eigentliche Gletscher das konkrete Untersuchungsgebiet nicht mehr erreichte und mittig von Schleswig-Holstein endete.

Im Osten Schleswig-Holsteins liegt daher ein kuppiges Jungmoränenland vor, im westlichen Teil besteht ein von periglazialen Prozessen überformtes Altmoränenland. Diese Moränenflächen stellen als Geländeform Erhebungen dar und werden durch Sandflächen, Sandrücken und Lehmverbreitungsgebieten charakterisiert, in denen sich zentral als auch randlich Hoch- und Niedermoore entwickelt haben.

Aus den noch nicht mit einer Vegetationsdecke geschützten Sandablagerungen wurden Sande äolisch verfrachtet, wodurch Flugsand-Dünen entstanden.

Das Schmelzwasser der Gletscher und die Niederschlagswässer sammelten sich zu größeren Wasserläufen und bildeten Urstromtäler. Der Unterlauf der Elbe deckt sich mit einem solchen Urstromtal.

Das Altmoränenland des westlichen Schleswig-Holsteins und westlichen Niedersachsens erstreckt sich bis zur Nordsee. In diesem Küstensaum hat sich unter Tideneinwirkung eine Küstenmarsch, entlang der Flussläufe als Äquivalent eine Flussmarsch entwickelt, bei denen schluffig/tonige, organisch geprägte Sedimente (Klei) abgelagert wurden. Die organischen Komponenten bestehen aus Fragmenten von Gräsern, Schilf und Muschelschill. Mit diesen Bruchstücken von Muschelschalen gelangte Kalk in die feinkörnigen Sedimente. Anhand des Kalkgehalts werden alte, entkalkte Marschen von jungen, kalkreichen Marschen unterschieden.

Letztlich wurden die natürlichen Ablagerungen durch den Menschen überprägt (Eindeichung zum Hochwasserschutz, Landgewinnung, Rohstoffabbau (u.a. Sand, Torf), Siedlungsflächen, landwirtschaftliche Nutzung, etc.) so dass in einer modernen Stratigraphie von dem Zeitalter des Anthropozäns gesprochen wird.

In der Abbildung 9 wird der oberflächennahe Geologische Aufbau dargestellt. Die Genese der Böden, die sich aus Marsch und Geest entwickelt haben, werden in dem nachfolgenden Kapitel 4.6 Pedologie näher dargestellt.

Kurze Schichtenübersicht im Betrachtungsgebiet:

In Bereichen von Straßen und Wegen sind künstliche Auffüllungen, oftmals vom bindigen Charakter, vorhanden.

Im übrigen Gebiet sind holozäne Ablagerungen organischer Weichschichten in Form von Klei, zum Teil stark organisch, sowie Torf anzutreffen. Der Klei hat überwiegend eine steife bis breiige, örtlich flüssige Konsistenz. Darunter lagern locker bis mitteldicht gelagerte Wattsande mit Kleistreifen, sowie Wechsellagerungen von Klei- und Wattsandlagen.

Georisiken:

Unter Georisiken bzw. geologischen Gefahren können spontane natürliche Gefährdungspotentiale wie z.B. Erdbeben, Erdfälle (Karstgebiete über Kalk und Gipsvorkommen) und Felsstürze in den Gebirgen und sich langfristig auswirkende geologischen Gefährdungspotentiale zusammengefasst werden.

Geologische Gefahren können aber auch durch menschliche Einwirkung entstehen. Bekannt sind Bergsenken, z.B. durch das Absinken des Deckgebirges nach untertägigem Kohleabbau oder durch Ausspülen von Kavernen in den Salzdomen zur Lagerung von Öl und Gas. Bei letztgenanntem verformt sich das umgebende, duktile Salzgestein und das Deckgebirge kann sich auch um mehrere Meter senken.

Ein Äquivalent zu den natürlichen Erdfällen stellen Tagesbrüche dar, bei denen bergmännisch geschaffene Hohlräume (Schächte, Strecken, etc.) spontan einstürzen und sich bis an die Oberfläche durchpausen.

Auch kleinere Eingriffe des Menschen in den Boden bergen geologische Gefahren, z.B. wenn im Zuge von Baumaßnahmen das Grundwasser lokal abgesenkt wird und dadurch Setzungen hervorgerufen werden. Im Rahmen von Baumaßnahmen sind auch Böschungs- und Grundbrüche aufzulisten.

Setzungen des Bodens können wiederum auch natürliche Ursachen haben. Wenn nach länger bestehender Trockenheit (z.B. Extrem-Sommer 2018 und 2019) der örtliche Grundwasserspiegel sinkt, können, sofern vorhanden, oberflächennahe Torfschichten austrocknen und schrumpfen. Dieser Vorgang ist teilweise reversibel. Bei

Anstieg des Grundwassers können diese Torfe wieder quellen. Bei längerer Einwirkung von Bodenluft können sich Torfe aber auch zersetzen.

Von den vorgenannten geologischen Gefahren sind planerische Risiken zu differenzieren.

In der frühen postglazialen Phase der letzten Kaltzeit zeigte das Urgelände eine stärkere Morphologie (Flussläufe, Becken, Rinnen, Sandrücken, etc.), die nach und nach, auch unter Auswirkungen der Transgression der Nordsee, überprägt wurde.

Die abgelagerten Sedimente können daher starke Unterschiede in Schichtmächtigkeit, Tiefenlage und Zusammensetzung aufweisen. Schichten können auf kurzer Distanz auskeilen oder auch abrupt enden (z.B. bei Anschnitt eines alten Flussbetts).

Bei Öffnung eines Leitungsgrabens können daher Abweichungen von zuvor prognostizierten Bedingungen auftreten. Dies stellt aber keine geologische Gefahr dar.

Im Rahmen der geplanten Baumaßnahme sind in diesem Bau- bzw. Planungsabschnitt keine geologischen Gefahren, wie z.B. Erdbeben oder Erdfälle/Tagesbrüche, zu erwarten.

Ingenieurgeologisch ist jedoch ein gering tragfähiger Baugrund aus organisch geprägten Schichten bei hoch anstehendem Grundwasser zu berücksichtigen.

Umweltchemisch besteht die Gefahr der Entstehung sulfatsaurer Böden (PASS-Böden), wenn reduktiv gelagerte, feinverteilte sulfidische Eisenminerale unter Bodenluftwirkung gelangen und dadurch eine Oxidation einsetzt. Bei älteren und somit häufig entkalkten Ablagerungen der Küstenmarschen kann durch Oxidation der pH-Wert kurzfristig (binnen Wochen) abfallen und der Boden versauern.

4.6 Pedologie

Das mit den Gletschern mitgeführte Moränenmaterial unterschiedlicher Korngröße wurde am Grund der Gletscher unsortiert abgelagert und tritt heute als Geschiebemergel oder -lehm an die Oberfläche. Während des Holozäns, wurde die Landschaft vor allem von der Vegetation und vom Wasser geprägt. Während der Eiszeiten waren große Wassermassen in den Gletschern gebunden, weshalb das Niveau des Meeresspiegels der Nordsee während der letzten Kaltzeit im Vergleich zum heutigen Niveau ca. 130 m niedriger lag. Mit dem sich erwärmenden Klima und dem Abschmelzen der Eismassen stieg der Meeresspiegel wieder an. Es folgten Phasen der Transgression und der Regression des Meeresspiegels. In Phasen der Überschwemmung wurde dabei aufgeschwemmtes Material abgelagert, wodurch ein bis zu 30 km breiter Marschengürtel entstand. Bei den von der Tide beeinflussten Flüssen reichte diese Entwicklung weiter in das Festland hinein. Bei einem zunehmenden Süßwassereinfluss wird hier auch von brackischen Ablagerungen gesprochen. Dadurch ist die Landschaft durch schluff-, ton- und feinsandbetonte Bodenarten gekennzeichnet. Aufgrund des seit dem 11. Jahrhundert einsetzenden Deichbau wird kein neues Bodenmaterial abgelagert. In jung eingedeichten, nordseenahe Marschgebieten handelt es sich überwiegend um marine Vorlandbildung mit zum Teil Sturmflutschichtungen. In der Alten Marsch handelt es sich um marine bis brackische Ablagerungen des Übergangsbereich zwischen Still- und Bewegtwasser.

Der PFA A2 liegt komplett innerhalb dieses Marschengürtels mit marinen und brackischen Ablagerungen.

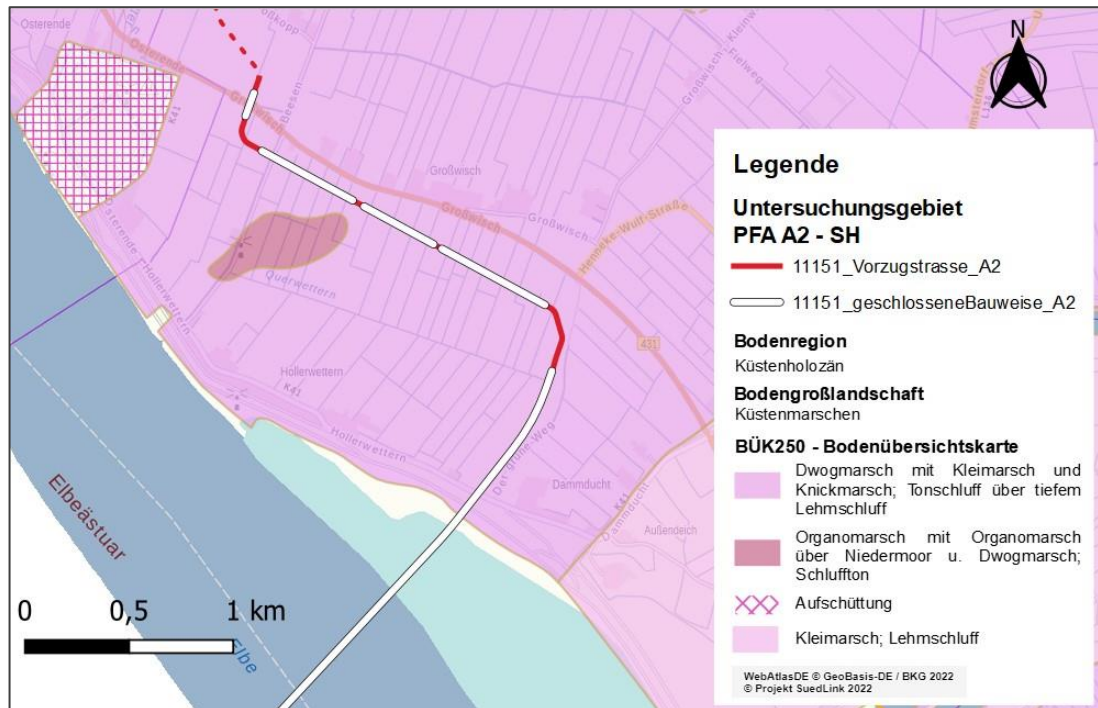


Abbildung 10: Bodenkundliche Übersichtskarte BÜK250 im Abschnitt SH (eigene Darstellung)

Nördlich der Elbe, im Bereich von Schleswig-Holstein, weist die Bodenkarte für Schleswig-Holstein 1 : 250.000 eine Dwogmarsch aus (siehe **Abbildung 10**). Bei einer Dwogmarsch handelt es sich um einen karbonatfreien Boden, welcher ein typischer Vertreter der Alten Marsch ist. Im Bodenprofil ist ein fossiler Dwog, eine ehemalige Geländeoberkante, zu erkennen. Eine Dwogmarsch ist dementsprechend das Ergebnis einer doppelten Bodenbildung mit zwischengeschalteter Sedimentation. Die Mächtigkeit der Gezeitensedimente beträgt mindestens 0,7 m.

In der näheren Umgebung sind vergesellschaftete Kleimarschen und Organomarschen ausgewiesen. Eine Kleimarsch aus Gezeitensedimenten weist einen mindestens 0,4 m mächtigen entkalkten Bodenhorizont auf. Sie entwickelte sich in der Regel durch Entkalkung aus Kalkmarschen. Eine Organomarsch ist ein ebenfalls kalkfreier Boden mit hohen Humus- und Tongehalten durch Ablagerungen primär organischer Sedimente sowie eingelagerten Torfschichten.

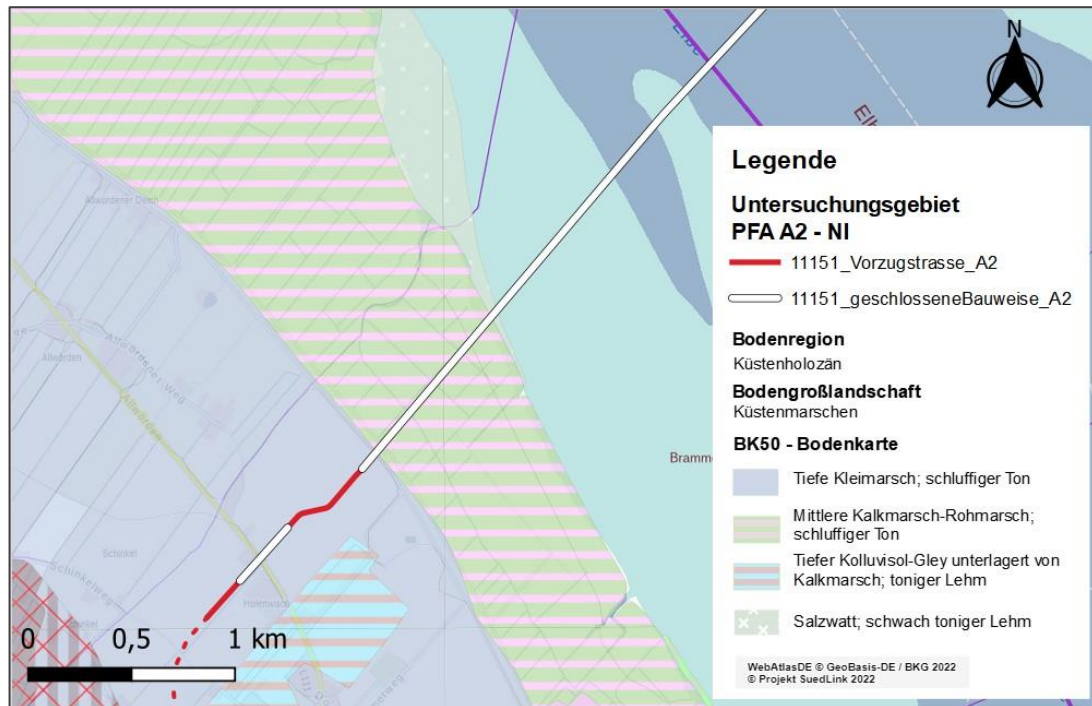


Abbildung 11: Bodenkundliche Übersichtskarte BK50 im Abschnitt NI (eigene Darstellung)

Für den Bereich südlich der Elbe (Niedersachsen), weist die Bodenkarte für Niedersachsen 1 : 50.000 zunächst eine mittlere Kalk-Rohmarsch aus. Die Kalk-Rohmarsch bildet hier eine Übergangsstufe zwischen dem Watt und der Marsch und wird periodisch überflutet. An der Kalk-Rohmarsch schließt sich eine Tiefe Kleimarsch an, die sich aus der Kalkmarsch entwickelte. Südöstlich des Trassenverlaufs tritt ebenfalls ein tiefer Kolluvisol-Gley unterlagert von Kalkmarsch auf. Kolluvisole entstanden aus durch Abschwemmungen verlagertem, humosem Bodenmaterial, insbesondere durch Bodenbearbeitung beim Ackerbau.

Bei den Marschböden handelt es sich um den Bodentyp der semiterrestrischen Böden. Sie sind i. d. R. Stauwasser beeinflusst.

Die **Abbildung 10** und **Abbildung 11** bieten eine Übersicht über die bodenkundlichen Verhältnisse.

4.7 Archäologie

Für den Bereich der Querungen 18 und 19 sowie der Abschnitte Segment 004 KM 0,0 – 1,0 und KM 1,2 – 2,0 liegt ein niedriges bis mäßiges archäologisches Konfliktpotential (Konfliktkategorie C bis D) vor. Der Bereich befindet sich innerhalb Verdachtsflächen früher Siedlungsräume des Archäologischen Landesamtes Schleswig-Holstein (ALSH).

Die Querung 20, sowie zum Teil Segment 004 KM 6,8 – 7,5 und KM 7,5 – 8,4 befinden sich in einer überbauten archäologischen Fundstelle und somit innerhalb eines archäologischen Interessengebiets. Eine archäologische Bohrbegleitung hat stattgefunden. Das Ergebnis ist in der Unterlage L07 - Unterlage zur Bodendenkmalpflege zu entnehmen.

4.8 Abfalltechnische Risiken

Für den gesamten betrachteten Abschnitt gibt es keine Hinweise auf einen Altlastenstandort. Dennoch ist es bei einem Bodenaushub möglich, kontaminierten Boden anzutreffen. Um mögliche Schadstoffbelastungen zu erkennen und einzugrenzen werden im Vorfeld Bodenproben gemäß LAGA M20 TR Boden analysiert und bewertet.

In dem Bereich von Schleswig-Holstein tauchen sulfatsaure Böden nur selten auf. Südlich der Elbe, in Niedersachsen, sind sulfatsaure Böden mit der Häufigkeit „örtlich mittel bis hoch“ ausgewiesen.

Solange diese Böden unterhalb des Grundwasserabschlusses im Boden lagern, verhalten sie sich stabil. Sofern sie im Zuge von Bauarbeiten ausgehoben und somit offen an der Erdoberfläche gelagert wird, kommt es beim Kontakt mit Luftsauerstoff zu einer Oxidation. Hierbei kann es zur Bildung erheblicher Mengen an Schwefelsäure kommen. Diese ist auch betonangreifend. Fallen sulfatsaure Böden im Zuge der Baumaßnahmen an, ist dieser abfallrechtlich zu behandeln und einer ordnungsgemäßen Beseitigung zuzuführen. Gegebenenfalls ist das Ausbaumaterial zu kalken, um Versauerungstendenzen, die beim Umlagern der Böden entstanden sein könnten, zu neutralisieren.

Die Ergebnisse werden weiter in Kapitel 6.7 sowie in den Unterlagen L02.1 Bodenschutzkonzept – Trasse, sowie Teil L10 – Abwägungsrelevante sonstige öffentliche und private Belange weiter verarbeitet.

Weitere Informationen und Belange des Abfallrechts werden in der Unterlage Teil L10 – Abwägungsrelevante sonstige öffentliche und private Belange, sowie Belange des Bodenschutzes in der Unterlage L02 – Bodenschutzkonzept betrachtet.

4.9 Vorherige Baugrunderkundungen

Im Abschnitt zwischen Großwisch und Dammducht sind Altbohrungen vorhanden. Aus diesen geht hervor, dass die Tiefenlage des Torfes in Richtung Elbe zunimmt und von Tonen und Schluffen überlagert wird. Die minimal angetroffene Tiefe liegt hier bei 4,0 m u. GOK, die maximale Tiefe bei ca. 10 m u. GOK. Die durchschnittliche Schichtmächtigkeit beträgt ca. 1,0 m. Die bisher ausgeführten Bohrungen waren lediglich bis in eine Tiefe von 5,0 m u. GOK abgeteuft worden. Um die Ausdehnung der Torfschicht näher zu beschreiben, wurden folgende Altbohrungen der Tabelle 3 aus der Bohrdatenbank Schleswig-Holstein herangezogen:

Tabelle 3: Betrachtete Altbohrung der Bohrdatenbank Schleswig-Holstein

ID	Kurzname	Koordinaten	Bohransatzhöhe [m]	Tiefe [m]
BDSH_2122/12/0003/B	S 44	524956,86 / 5966425,05	0,74	20,0
BDSH_2122/12/0004/B	S 45	524780,10 / 5966532,27	-0,01	20,0
BDSH_2122/17/0058/B	S 40	525499,99 / 5965835,58	0,8	20,0

Des Weiteren sind entlang der Trasse eine Vielzahl von Altbohrungen verzeichnet. Aufgrund von eigenen Bohrungen werden diese zur Betrachtung nicht herangezogen.

4.10 Hydrologie

Belange der Hydrologie werden primär in der Unterlage Teil L06.2–Hydrologisches Fachgutachten betrachtet. Da jedoch abgesehen von der Feststellung, dass die Bereiche über verschiedene Gewässer und Drainagen entwässert werden, für dieses

Gutachten keine weiteren Aspekte notwendig sind, wird hier nicht weiter auf die Hydrologie eingegangen.

4.11 Hydrogeologie

Der Trassenabschnitt befindet sich in der hydrogeologischen Einheit der glazifluvialen, marinen Ablagerungen im Großraum der nord- und mitteldeutschen Lockergesteinsgebiete. Es handelt sich hier um Porengrundwasserleiter. Stratigrafisch können die Sedimente dem Quartär, genauer der Weichsel-Kaltzeit zugeordnet werden. Genauere Angaben zur Hydrogeologie sind dem L06.1 hydrogeologisches Fachgutachten zu entnehmen.

Schleswig-Holstein

Die Deckschicht besteht aus holozänen, stark organischen Marschsedimenten (Klei). Unterlagert wird diese Schicht von Torfen. Wechsellagerungen von Torfen und Klei sind möglich. Die Mächtigkeiten variieren stark zwischen 10 und 20 m.

Unter den holozänen Weichschichten folgen mindestens 20 m mächtige Sande und Kiese des oberen quartären Grundwasserleiters.

Trennschicht zum tieferen quartären Grundwasserleiter bilden Geschiebemergel, feinsandige Schluffe und Tone sowie schwach bis stark schluffige Feinsande. Die Mächtigkeit der Trennschicht beträgt mindestens ca. 30 m.

Niedersachsen

Die Deckschichten auf der niedersächsischen Seite sind ebenfalls vom marschtypisch brackischen Charakter. Die Mächtigkeiten der Klei und Torfschichten belaufen sich im Zielschacht des ElbX-Querungsbauwerks zwischen 1,6 und 6,4 m. Im elbnahen Bereich sind diese deutlich geringer ausgeprägt. Im weiteren Trassenverlauf steigt die Mächtigkeit der Deckschicht überwiegend an.

Der oberflächennahe quartäre Wasserleiter ist bis ca. 60 m u. GOK ausgebildet. Hierbei liegt die Mächtigkeit bei ca. 30 bis 60 m. Der Grundwasserleiter setzt sich aus holozänen Wattsanden, unterlagert von weichselzeitlichen Ablagerungen in Form von fluviatilen, z.T. kiesigen Sanden sowie saalezeitlichen Sanden und Kiesen zusammen.

Trennschicht zum tieferen quartären Grundwasserleiter bildet die ca. 10 m mächtige Sperrschicht der sog. Lauenburg-Schichten. Diese sind, als Schluffe und Tone mit Feinsandanteilen ausgeprägt.

4.12 Hochwasserrisiko

Der Bereich der Querung 18 und 19 sowie Segmente 004 KM 0,0 – 1,0 und KM 1,2 – 2,0 befinden sich im Küstengebiet, in dem der Extremwasserstand HW200 extrem Küsten ausgewiesen ist. Hochwasserrisikogebiete sind in diesem Bereich vorhanden.

Der Querungsbereich 20 sowie das Segment 004 KM 6,8 – 7,5 liegen in einem Risikogebiet für Extremhochwasser (HWextrem).

Da es sich bei den Hochwasserereignissen um, statistisch gesehen, selten auftretende Ereignisse handelt und das Bauvorhaben zeitlich begrenzt ist, besteht kein bis sehr geringes Risiko. Detaillierte Angaben hierzu finden sich in L 06.2 – Hydrologisches Fachgutachten.

5 Baugrunderkundung und geotechnischen Kategorie

Die vorläufige Einordnung der geotechnischen Kategorie erfolgt nach den folgenden Kriterien der Tabelle 4 (nach DIN EN 1997-1:2014-03 und DIN 4020:2010-12). Eine Überprüfung und finale Einordnung der geotechnischen Kategorie erfolgt in Kapitel 8.

Tabelle 4: Vorläufige Einordnung in die geotechnische Kategorie

	Beschreibung	Entspricht geotechnischer Kategorie
Baugrund	Weiche organische Böden großer Mächtigkeit	GK 3
Grundwasser	Freie Grundwasseroberfläche liegt höher als die Bauwerkssohle; Grundwasserzutritte bzw. die Wasserhaltung sind mit üblichen Maßnahmen beherrschbar; Durch diese Maßnahmen sind keine ungünstigen Einflüsse auf die Umgebung zu befürchten	GK 2
Sonstige Baumaßnahmen und Bauverfahren	Horizontalbohrungen mit hohen Spülungsdrücken z.B im HDD-Verfahren	GK 3

Der geotechnische Schwierigkeitsgrad der bautechnischen Maßnahme wird zunächst in höchste Kategorie (Geotechnische Kategorie GK 3 nach DIN 4020:2010-12) eingeordnet.

5.1 Generell – Aufschlüsse

Zur Baugrunduntersuchung wurden entlang der Trassenabschnitte folgende Bohr- und Erkundungsverfahren und Anzahl durchgeführt:

- 73 Kleinrammbohrungen gemäß DIN EN ISO 22475-1:2007-01
- 11 Rotationskernbohrungen gemäß DIN EN ISO 22475-1:2007-01
- 12 (elektrische) Drucksondierungen gemäß DIN EN ISO 22476-1:2013-10
- 25 schwere Rammsondierungen gemäß DIN EN ISO 22476-2:2012-03

Des Weiteren wurde im Rahmen der Baugrunduntersuchung 10 bodenkundliche Profile gemäß der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5) aufgenommen.

5.2 Lage der Aufschlüsse

Die exakte Lage der Aufschlüsse sind den Übersichtslageplänen von Schleswig-Holstein und Niedersachsen der Anlage 02 und 03 zu entnehmen.

Tabelle 5: Allgemeine Lage

Ortsbezeichnung	Segment 004 Querung 18 B431 km 0,0 – 1,0	Segment 004 Querung 19 Hollerwettern km 1,2 – 2,0	Segment 004 Querung 20 L111 km 6,8 – 8,4
Kreis/ Stadt	Steinburg	Steinburg	Stade
Gemeinde	Wewelsfleth	Wewelsfleth	Wischhafen
Gemarkung	Wewelsfleth	Wewelsfleth	Wischhafen

Anmerkung: Bei der Bezeichnung der Kreuzungen handelt es sich um eine BGU eigene Benennung.

Die folgende Tabelle 6 beinhaltet die für das vorliegende Gutachten betrachteten Bohrungen, deren bodenmechanische Ergebnisse einbezogen worden sind. Die Bohrungen liegen dabei in einem Abstand von ca. 300 m bis 400 m zueinander.

Tabelle 6: Lage der Aufschlüsse

Aufschlussart/ Aufschlusssbezeichnung	Flurstück	Rechtswert/ Hochwert [m]	NN-Höhe [m ü NN]
PA1-BK-Wew-006	4/6	32523454,691 / 5967096,134	-0,100
PA1-CPT-Wew-012	4/6	32523466,409 / 5967126,164	-0,089
PA1-KRB-Wew-003	6	3523551,187 / 5968852,452	-0,222
PA1-BK-Wis-002	120/26	32520971,569 / 5961401,129	1,322
PA1-CPT-Wis-008	120/26	32520956,105 / 5961398,674	1,672
PA1-KRB-Wew-091	84	3523500,290 / 5969211,485	0,00
PA1-KRB-Wew-0004	5/2	3523693,229 / 5968809,426	0,372
PA1-DPH-Wew-0002	5/2	3523691,598 / 5968806,635	0,251
PA1-KRB-Wew-0012	9	3523848,898 / 5968662,961	-0,274
PA1-KRB-Wew-0019	17/2	3524156,345 / 5968555,792	-0,009
PA1-DPH-Wew-0007	17/2	3524158,433 / 5968559,253	0,009
PA1-KRB-Wew-0033	14/3	3524461,061 / 5968331,426	-0,465
PA1-KRB-Wew-0043	6/3	3524834,513 / 5968184,021	0,142
PA1-DPH-Wew-0015	6/3	3524836,333 / 5968188,261	0,132
PA1-KRB-Wis-0010	52/4	3521155,416 / 5963514,288	1,402
PA1-DPH-Wis-0004	52/4	3521154,042 / 5963512,279	1,407
PA1-KRB-Wis-0003	51/5	3521397,036 / 5963699,366	1,000
PA1-KRB-Wis-0019	25	3520737,15 / 5961203,95	0,72
PA1-DPH-Wis-0008	25	3520887,049 / 5963220,362	0,784
PA1-KRB-Wis-0013	25	3520955,375 / 5963294,793	0,940
PA1-DPH-Wis-0005	25	3520954,263 / 5963293,119	0,921
PA1-KRB-Wis-0225	51/5	3521450,31 / 5961893,33	1,31

5.3 Beschreibung der durchgeführten Felduntersuchungen

Bei den vor vorstehenden aufgeführten Bohrpunkten handelt es sich um ausgewählte, repräsentative Bohrungen entlang der Trasse. Hierbei wurde alle 300 m bis 400 m

eine Bohrung ausgewählt. Die Feldarbeiten wurde zwischen Oktober 2020 und Februar 2021 durch folgende Firmen ausgeführt:

- Thade Gerdes GmbH
- Geotechnik Nord GmbH

5.4 Grundwassermessstellen

Im Planfeststellungsabschnitt A2 liegen zwei Grundwassermessstellen, deren Wasserstände mittels Datenlogger erfasst werden.

An der Querung 18 wurde eine Grundwassermessstelle (PA1-BK-Wew-0008; E 09°21'27.06", N 53°51'04.81") zur Messung des 1. Hauptgrundwasserleiters errichtet. Sie liegt auf der Flurstücks Nummer 4/6 in Wewelsfleth, an der südöstlichen Bohrung.

An der Querung 20 wurde ebenfalls eine Grundwassermessstelle auf dem Flurstück 120/26 in Wischhafen zur Messung des 1. Hauptgrundwasserleiters errichtet (PA1-BK-Wis-0002; E 09°19'06.3", N 53°48'02.72").

Für den Ausbau wurde das Bohrloch auf 324 mm aufgeweitet und für die Filterstrecke von 3,5 m, in einer Tiefe von ca. 16,5 m u. GOK, ein PVC-Filterrohr DN 125 mit Schlitzweite 0,5 mm eingestellt und das PVC-Aufsatzrohr DN 125 angebracht. Der Ringraum wurde im Bereich der Filterstrecke mit Filterkies $\varnothing$ 0,9 – 1,6 mm verfüllt. Außerhalb der Filterstrecke erfolgte die Verfüllung mit Ton (Friebo-Fast).

5.5 Laboruntersuchungen

Hier werden die Art und Anzahl der jeweils für die vorliegende Unterlage betrachteten Proben der entsprechenden Untersuchung aufgelistet. Die Ergebnisse der jeweiligen Untersuchungen werden in Kapitel 6ff beschrieben.

5.5.1 Bodenmechanische Laboruntersuchungen

Die Kornverteilung wurde nach DIN EN ISO 17982-4:2017-04 und die Zustandsgrenzen gemäß DIN EN ISO 17892-12:2020-07 der Bodenproben bestimmt. Die Laboruntersuchungen wurden durch die Geonovo GmbH durchgeführt.

Tabelle 7: Anzahl betrachteter Kornverteilungen und Zustandsgrenzen

Art	Anzahl
Kornverteilung	24
Zustandsgrenzen	13

5.5.2 Bodenkundliche Laboruntersuchungen

Es wurden der Wassergehalt gemäß DIN EN ISO 17892-1:2015-03, der Glühverlust gemäß DIN 18128:2002-12 sowie der Kalkgehalt gemäß der DIN 18129:2011-07 der Bodenproben durch die Geonovo GmbH bestimmt.

Tabelle 8: Anzahl betrachteter Wassergehalte, Glühverluste, Kalkgehalt

Art	Anzahl
-----	--------

Wassergehalt	33
Glühverlust	30
Kalkgehalt	28

5.5.3 Laboruntersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit

Es wurden 71 Proben zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit betrachtet. Entgegen der üblichen Systematik werden hier alle Ergebnisse ausgewertet und nicht nur die der ausgewählten Bohrpunkte.

5.5.4 Chemisch-analytische Laboruntersuchungen

Die Bodenproben wurde auf ihren Schadstoffgehalt gemäß LAGA M20 TR Boden, Mindestuntersuchungsumfang bei unspezifischem Verdacht sowie auf ihr Versauerungspotenzial (Netto-Säureneutralisationskapazität, PASS) untersucht.

Tabelle 9: Anzahl betrachteter Proben für LAGA TR Boden und PASS

Art	Anzahl
LAGA TR Boden	65
Netto-Säureneutralisationskapazität	93

6 Baugrundbeschreibung

6.1 Beschreibung des Schichtenaufbaus

Über die Strecke ergibt sich ein inhomogener Schichtenaufbau mit stark variablen Mächtigkeiten der einzelnen Schichten. Die Heterogenität bezieht sich auf die unterschiedlichen Schichtverläufe und -mächtigkeiten von Klei und Torf innerhalb des mächtigen Schichtverlaufs.

An der Oberfläche wurden z.T. Oberbodenschichten aus humosen Schluff als auch anthropogene Auffüllungen aus bindigen und rolligen Böden erfasst.

Darunter folgen bindige Schichten. Dabei handelt es sich vor allem um Klei, in dem oft organische Schichten eingelagert sind. Organischer Klei wird lokal als Darg bezeichnet (vgl. Brockmann 1940: 164 ff.). Zudem sind meist einzelne oder mehrere Torfschichten innerhalb der bindigen Schichten eingelagert, sodass in diesem Fall von einer Wechsellagerung gesprochen werden kann.

Unterhalb der organogenen Weichschichten wurde Feinsand erschlossen, welcher aufgrund seines hohen Schluffanteils örtlich als Wattsand bezeichnet wird. Es wird deutlich, dass die organogenen Weichschichten in den Bohrungen südlich der Elbe an Mächtigkeit abnehmen. Sie erreichen hier zum Teil nur eine Mächtigkeit von < 1m, wohingegen sie im nördlichen Bereich der Elbe Mächtigkeiten von bis zu ca. 13 m erreichen können.

Der Schichtenaufbau im Trassenverlauf ist im geologischen Schnitt dargestellt. Dieser ist der Anlage 01 zu entnehmen.

6.2 Angetroffene Schichten

In den nachfolgenden Kapiteln werden die angetroffenen Böden näher beschrieben und charakteristische Kennwerte festgelegt.

Vorwegzunehmen ist, dass es zwischen der Bodenansprache, der Auswertung der CPT-Us und den Laborversuchen hinsichtlich der Konsistenz eine Diskrepanz vorliegt. Die Ursache hierfür liegt zum einen in dem Probenahmeverfahren. Durch das Ziehen eines Bohrkerns wird der bindige Boden gestaucht, wodurch tendenziell Konsistenzen entsprechend höherer Konsistenzzahlen angesprochen werden. Zum anderen bedingt der zum Teil hohe Anteil an organischer Substanz hohe Fließgrenzen und Plastizitätszahlen.

Die Auswertung der CPT-U erfolgt nach Spitzendruck nach Robertson (2015) „Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering“ mit jeweiligen Korrekturfaktoren der einzelnen Böden gemäß Look (2014) „Handbook of Geotechnical Investigation and Design Table“.

Die anhand der CPT-U abgeleiteten Konsistenzen sind maßgebend und für Berechnungen der Scherfestigkeit heranzuziehen.

6.2.1 Oberboden

In den Bohrungen nördlich der Elbe wurde ein humoser Oberboden aus einem überprägten Kleiboden angesprochen. Es handelt sich dabei um einen meist tonigen und schwach feinsandigen Schluff. Der Schluff wird als feucht mit einer dunkelbraunen Färbung beschrieben.

In den Bohrungen südlich der Elbe wurde der natürlich gewachsene humose Oberboden als ein schluffiger und schwach toniger Feinsand angesprochen.

Der Oberboden weist unterschiedliche Mächtigkeiten auf. Er wurde als feucht beschrieben und zeigte eine dunkelbraune Färbung. An der Oberbodenschicht wurden keine Laborversuche durchgeführt.

6.2.2 Auffüllung

In einigen Passagen, vor allem im Bereich der Querung 20, wurden Auffüllungen infolge von Erd- und Straßenbauarbeiten angetroffen. Hierbei handelt es sich um einen Kleiboden aus einem feinsandigen und schwach schluffigen Ton. Bei der Bodenansprache wurden meist Pflanzenreste sowie Bauschuttreste erfasst. Auch hier wird der Boden als feucht beschrieben und zeigte eine hellgraue bis graue Färbung. An der Auffüllung wurden keine Laborversuche durchgeführt.

6.2.3 Klei

Unter dem Oberboden und der Auffüllung wurde Klei mit variabler Mächtigkeit angetroffen. Kleischichten wurden zudem innerhalb der Wechsellagerung erschlossen.

Tabelle 10: Mächtigkeit der Kleischicht

Teufe [m u. GOK] [min. / max.]	Mächtigkeit [m] [min. / max.]
0,30 – 1,50	0,20 – 5,15

Bei dem erbohrten Kleiboden handelt es sich meist um einen tonigen und schwach feinsandigen Schluff, welcher zum Teil als organisch beschrieben wird. Die Konsistenz ist abhängig vom Wassergehalt und wurde in der Bodenansprache mit weich bis steif angegeben. Der Boden weist eine braune bis graue Färbung auf.

Die Ergebnisse der CPT-U Auswertung sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 11: Ergebnisse und Auswertung CPT-U Klei

Versuch	Ergebnis [min. / max.]
Mittlerer Spitzendruck	0,20 – 0,50 MN/m ²
Abgeleitete Konsistenz	breiig bis steif
Abgeleitete undrained Scherfestigkeit	1 – 21 kN/m ²

An den Kleiböden wurden zudem über Laborversuche der Wassergehalt, der Glühverlust, der Kalkgehalt, die Kornverteilung sowie die Zustandsgrenzen bestimmt.

Aufgrund der hohen Anzahl an Proben für den gesamten Abschnitt werden hier für die relevanten Parameter Minimal- und Maximalwerte aus den Ergebnissen der ausgewählten Bohrungen (siehe Tabelle 6: Lage der Aufschlüsse) angegeben.

Tabelle 12: Ergebnisse Laborversuche Klei

Bohrung [min. / max.]	Versuch		Ergebnis [min. / max.]
PA1-KRB-Wew-0004 / PA1-BK-Wew-0003	Wassergehalt		26,75 % / 394,44 %
PA1-KRB-Wis-0013 / PA1-BK-Wew-0003	Glühverlust		2,92 % / 23,30 %
PA1-KRB-Wew-0004, PA1-BK-Wew-0006, PA1-BK-Wis-0002, PA1-KRB-Wis-0022 / PA1-BK-Wew-0003	Kalkgehalt		0,00 % / 6,38 %
PA1-BK-Wis-0002 / PA1-BK-Wew-0003	Zustands-gren- zen	Fließgrenze (w_L)	49,04 % / 164,92 %
PA1-BK-Wis-0002 / PA1-BK-Wew-0003		Ausrollgrenze (w_P)	22,29 % / 73,79 %
PA1-BK-Wis-0002 / PA1-BK-Wis-0003		Schrumpfgrenze (w_s)	15,60 % / 51,0 %
PA1-KRB-Wew-0043 / PA1-BK-Wew-0003		Plastizitätszahl (I_P)	20,61 % / 91,13 %
PA1- KRB-Wis-0003 / PA1-BK-Wew-0019		Konsistenzzahl	-0,05 / 0,72
-		Bodengruppe	OT / TM / TA

Die Ergebnisse der Laborversuche zeigen die Inhomogenität des anstehenden bindigen Bodens auf. Dieser weist hohe, bis zum Teil sehr hohe Wassergehalte auf, die jedoch auch auf den erhöhten organischen Anteil zurückzuführen sind, (vgl. Wassergehaltsspannen nach Augner 2011: 5 und Prinz, Strauß 2018: 30). Der Klei kann nach DIN EN ISO 14688-2:2020-11 als schwach bis stark organisch beschrieben werden. Feinkörnige Böden können jedoch schon ab einen organischen Anteil von 5 % als organogen bezeichnet werden (vgl. Prinz, Strauß 2018: 28). Dementsprechend stehen im PFA A2 vor allem organogene Kleiböden an, die für das Untersuchungsgebiet charakteristisch sind (lokal auch „Darg“). Entsprechend der Bestimmung der Zustandsgrenzen verhält sich der Klei entsprechend dem Wassergehalt der Fließgrenze w_L nach DIN 18196:2011-05 mittel bis ausgeprägt plastisch. Der Kleiboden wird nach DIN EN ISO 14688-2:2020-11 als nicht kalkhaltig bis kalkhaltig klassifiziert.

Die Konsistenz des Kleis entlang des betrachteten Abschnittes kann nach Bestimmung der Zustandsgrenzen als flüssig bis weich eingestuft werden (vgl. Prinz, Strauß 2018: 43).

Die Ergebnisse der Auswertung der Kornverteilung sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Dabei ist zu beachten, dass bei der Bestimmung der Kornverteilung die organischen Bestandteile nicht berücksichtigt wurden.

Tabelle 13: Ergebnisse Kornverteilung Klei

Feinstkorn < 0,063 mm [%] [min. / max.]	Kurzzeichen	Ungleichförmigkeitszahl C_u [min. / max.]	kf-Wert [m/s] [min. / max.]
69,2 / 97,9	U, t, ms / fs / s / gs T, fs, u, (ms/fs)	2,99 / 17,35	$2,164 \cdot 10^{-8}$ (Seelheim 1880) / $5,751 \cdot 10^{-7}$ (Seelheim 1880)

Feinkörnige Böden enthalten der DIN 18196:2011-05 zufolge einen Feinkornanteil von über 40 % und werden nach ihrer Plastizität bzw. ihrer Lage zur A-Linie im Plastizitätsdiagramm von Casagrande eingestuft. Klassifizierung sowie Einordnung der Plastizität erfolgt dabei anhand des Wassergehaltes an der Fließgrenze w_L und des Wassergehaltes an der Ausrollgrenze w_P . Aus den Ergebnissen der Kornverteilung gemäß DIN EN ISO 17892-4:2017-04, lässt sich ableiten, dass es sich bei dem Kleiboden um einen feinkörnigen Boden mit einem Feinkornanteil von über 70 % aus Schluff oder Ton, bzw. um ein Schluff-Ton-Gemisch, handelt. Da feinkörnige Böden anhand ihrer Lage im Plastizitätsdiagramm eingestuft werden, können die untersuchten Bodenproben nach DIN 18196:2011-05 der Bodengruppe der organogenen Tone (OT), mittelpastische Tone (TM) und ausgeprägt plastische Tone (TA) zugeordnet werden. Auffällig ist hier, dass die Proben als Ton eingestuft werden, obwohl ebenso Schluff in einigen Proben den größten Anteil an den Kornfraktionen einnimmt. Zu erklären ist dies über den hohen organischen Anteil. Organogene Böden weisen veränderte plastische Eigenschaften auf und der organische Anteil führt zu hohen Fließgrenzen und Plastizitätszahlen (Prinz, Strauß 2018: 28, 127). Zudem wird der Versuch zur Bestimmung der Zustandsgrenzen an hochgradig gestörten Bodenproben durchgeführt, wodurch es bei der Bestimmung des Wassergehaltes an der Fließ- als auch an der Ausrollgrenze zu Abweichungen kommen kann (ebd.: 43). Insbesondere betrifft dies die Konsistenzzahl, wodurch häufig Abweichungen zur Feldansprache auftreten (ebd.). Aufgrund der ermittelten kf-Werte kann der Kleiboden als schwach durchlässig bewertet werden (vgl. Hölting, Coldewey 2013: 26).

Aus den in den Laborversuchen ermittelten Ergebnissen lassen sich die Bodenkennwerte für den Klei ableiten.

Die Festlegung der Bodenparameter erfolgt unter Einbeziehung der vorangegangenen Beschreibung des Bodens und der Literaturstudie in folgender Tabelle. Vergleich von 2 Literaturwerten (EAU „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen 2020 und Skript TU München) mit den Erkenntnissen aus Feld- und Laborversuchen und anschließend Wahl der Parameter.

Tabelle 14: Charakteristische Bodenkennwerte Klei

Parameter	Literaturwerte		Mess- und Interpretationswerte gem. Kapitel	Gewählte charakteristische Parameter
	Literaturstudie OU/OT	Literaturstudie TA		
Durchlässigkeitsbeiwert k_f [m/s]	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-11}$	$1 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-11}$		5×10^{-8}
Wichte γ [kN/m ³]	14,0 – 18,5	17,0 – 18,5		16,0
Wichte unter Auftrieb γ' [kN/m ³]	4,0 - 8,5	7,0 – 8,5		6,0
Reibungswinkel φ' [°]	15,0 – 26,0	20,0 – 25,0		17,5
Kohäsion c' [kN/m ²]	0,0 – 35,0	5 – 15,0		5,0
Undrained Scherfestigkeit c_u [kN/m ²]	2,0 – 150,0	5,0 -100	6,0 – 21,0	10,0
Steifemodul $E_{s,pref=100}$ [MN/m ²]	0,5 – 4,0	1,0 – 2,0		0,5

6.2.4 Torf

Innerhalb der organogenen Weichschichten wurde in den Bohrungen nördlich der Elbe einzelne oder mehrere Torfschichten mit einer variablen Mächtigkeit angetroffen.

Tabelle 15: Mächtigkeit der Torfschicht

Teufe [m u. GOK] [min. / max.]	Mächtigkeit [m] [min. / max.]
1,50 / 4,40	0,40 / 2,50

Bei dem erschlossenen Torf handelt es sich um einen schwach bis mäßig zersetzten Torf, der als feucht beschrieben wurde. Charakteristisch sind für den angesprochenen Torf eine dunkelbraune bis schwarze Färbung sowie ein muffiger Geruch.

Die Ergebnisse der CPT-U Auswertung sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 16: Ergebnisse und Auswertung CPT-U Torf

Versuch	Ergebnis [min. / max.]
Mittlerer Spitzendruck	0,22 – 0,40 MN/m ²
Abgeleitete Konsistenz	/
Abgeleitete undrÄnierte Scherfestigkeit	4 – 24 kN/m ²

An dem Torf wurden zudem über Laborversuche der Wassergehalt und der Glühverlust bestimmt.

Aufgrund der hohen Anzahl an Proben für den gesamten Abschnitt werden auch hier für die relevanten Parameter Minimal- und Maximalwerte aus den Ergebnissen der ausgewählten Bohrungen angegeben.

Tabelle 17: Ergebnisse Laborversuche Torf

Bohrung [min. / max.]	Versuch	Ergebnis [min. / max.]
PA1-KRB-Wew-0004 / PA1-BK-Wew-0006	Wassergehalt	351,94 % / 536,36 %
PA1-KRB-Wew-0003 / PA1-BK-Wew-0006	Glühverlust	44,22 % / 84,87 %

Die Ergebnisse der Laborversuche weisen sehr hohe Wassergehalte und Organikanteile auf, die für einen Torf typisch sind (vgl. Wassergehaltsspannen nach Augner 2011: 5 und Prinz, Strauß 2018: 30).

Der Torf ist schwach bis mäßig zersetzt und wird daher der Bodengruppe nach DIN 18196:2011-05 HN zugeordnet.

Aus den in den Laborversuchen ermittelten Ergebnissen lassen sich die Bodenkennwerte für den Torf ableiten.

Die Festlegung der Bodenparameter erfolgt unter Einbeziehung der vorangegangenen Beschreibung des Bodens und der Literaturstudie in folgender Tabelle.

Tabelle 18: Charakteristische Bodenkennwerte Torf

	Literaturwerte	Mess- u. Interpretationswerte gem. Kapitel	Gewählte charakteristische Parameter
Parameter	Literaturstudie, HN		
Durchlässigkeitsbeiwert k_f [m/s]	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-8}$		10^{-6}
Wichte γ [kN/m ³]	10,5 – 13,0		11,0
Wichte unter Auftrieb γ' [kN/m ³]	0,5 – 3,0		1,0
Reibungswinkel ϕ' [°]	12,5 - 17,5		15
Kohäsion c' [kN/m ²]	2,0 – 15,0		2,0
Undrainede Scherfestigkeit c_u [kN/m ²]	x	4,0 – 24,0	14,0
Steifemodul $E_{s,pref=100}$ [MN/m ²]	0,3 – 2,0		0,5

6.2.5 Sand (Wattsand)

Unterhalb der organogenen Weichschichten wurden in unterschiedlicher Tiefe z.T. schluffige Sande erschlossen. Da die Mächtigkeiten der bindigen Schichten bei den südlich der Elbe gelegenen Bohrungen abnehmen, wurden vor allem hier Sande angesprochen. Dies wird unterstrichen durch die Ergebnisse der Bohrung der Querung 19, da hier Feinsand ab einer Tiefe von ca. 13 m u. GOK erschlossen wurde.

Tabelle 19: Mächtigkeit des Sands

Tiefe [m u. GOK] [min. / max.]	Mächtigkeit [m] [min. / max.]
13,15 / 1,60	> 1,00 / > 8,40

Es handelt sich bei dem Sand um einen schluffigen, meist mittelsandigen Feinsand. Mit zunehmender Tiefe kann auch feinsandiger, schluffiger Mittelsand erschlossen werden. Aufgrund des hohen Schluffanteils, sowie häufig vorkommenden Schluff- oder Torflinsen wird lokal von einem Wattsand gesprochen. Charakteristisch sind thixotrope Eigenschaften. Die Färbung wird als grau beschrieben.

Nach den Ergebnissen der Drucksondierungen kann für den Sand eine überwiegend mitteldichte Lagerung angenommen werden.

Die Ergebnisse der CPT-U Auswertung sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 20: Ergebnisse und Auswertung CPT-U Sand

Versuch	Ergebnis [min. / max.]
Mittlerer Spitzendruck	5,00 – 15,00 MN/m ²
Abgeleitete Lagerungsdichte	locker bis mitteldicht

An dem Sand wurden verschiedene Laborversuche durchgeführt. Es wurden der Wassergehalt, der Glühverlust, der Kalkgehalt sowie die Kornverteilung bestimmt.

Tabelle 21: Ergebnisse Laborversuche Sand

Bohrung [min. / max.]	Versuch	Ergebnis [min. / max.]
PA1-BK-Wew-0003 / PA1-KRB-Wis-0013	Wassergehalt	30,64 % / 68,70 %
PA1-BK-Wis-0012 / PA1-KRB-Wew-0043	Glühverlust	0,71 % / 4,06 %
PA1-BK-Wis-0012 / PA1-KRB-Wis-0013	Kalkgehalt	0,72 % / 4,45 %

Für einen Sand weisen die untersuchten Proben einen hohen Wassergehalt auf (vgl. Wassergehaltsspannen nach Augner 2011: 5 und Prinz, Strauß 2018: 30). Der Sand kann aufgrund des bestimmten Glühverlustes nach DIN EN ISO 14688-2:2020-11 als schwach organisch bezeichnet werden. Der Kalkgehalt variiert deutlich. Entsprechend der DIN EN ISO 14688-2:2020-11 kann der im Untersuchungsgebiet anstehende Sand als nicht bis leicht kalkhaltig klassifiziert werden. Die Ergebnisse machen die Inhomogenität des erschlossenen Sandes deutlich. Die Eigenschaften werden maßgeblich vom Schluffanteil bestimmt. So weisen Proben mit einem höheren Schluffanteil einen höheren Wassergehalt auf.

Die Ergebnisse der Auswertung der Kornverteilung sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Dabei ist zu beachten, dass bei der Bestimmung der Kornverteilung die organischen Bestandteile nicht berücksichtigt wurden.

Tabelle 22: Ergebnisse Kornverteilung Sand

Feinstkorn < 0,063 mm [%] [min. / max.]	Kurzzeichen	Ungleichförmigkeitszahl Cu [min. / max.]	kf-Wert [m/s] [min. / max.]
1,1 / 29,8	fS, ms, u, t	1,64 / 20,65	2,103 * 10 ⁻⁴ (Beyer 1964) / 2,890 * 10 ⁻⁷ (Beyer 1964)

Auch die Kornverteilung macht deutlich, dass der Sand im Untersuchungsgebiet inhomogen ist. Es handelt sich meist um einen Feinsand, welcher nach der DIN 18196:2011-05 eine eng gestufte Körnungslinie (SE) aufweist. Aufgrund hoher Feinkornanteile liegen vor allem Sand-Schluff-Gemische vor, die entsprechend der DIN 18196:2011-05 in die Bodengruppe SU* (gemischtkörniger Boden) eingestuft werden. Grund hierfür ist auch, dass die Sandschicht unterhalb der organischen Weichschichten lediglich oberflächennah angebohrt wurden. Oftmals liegt ein Wattsand vor, wel-

cher charakteristisch hohe Schluffanteile besitzt. Die Durchlässigkeit der angetroffenen Sande kann von durchlässig bis schwach durchlässig variieren (Hölting, Coldey 2013: 26).

Aus den in den Laborversuchen ermittelten Ergebnissen lassen sich die folgenden Bodenkennwerte für den Sand ableiten. Die großen Bandbreiten der k_f -Werte sind zurückzuführen auf die Messungen des Grundwasserleiters in SH, welche nahe an der Schichtgrenze zum Schluff / Klei erfolgten. Die Bodenkennwerte aus dem Wasserhaltungskonzept L06.3 wurden miteinbezogen.

Die Festlegung der Bodenparameter erfolgt unter Einbeziehung der vorangegangenen Beschreibung des Bodens und der Literaturstudie in folgender Tabelle.

Tabelle 23: Charakteristische Bodenkennwerte Sand (SE und SU*)

Parameter	Literaturstudie SE / SI	Literaturstudie SU*	Charakteristische Parameter
Durchlässigkeitsbeiwert k_f [m/s]	$2 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-9}$	3×10^{-4}
Wichte γ [kN/m ³]	16,0 – 19,0	16,5 – 20,0	18,5
Wichte unter Auftrieb γ' [kN/m ³]	6,0 - 12,0	9,0 – 12,0	9,0
Reibungswinkel ϕ' [°]	30,0 – 40,0	30,0 – 40,0	32,5
Kohäsion c' [kN/m ²]	0,0	0,0 – 30,0	10,0
Steifemodul $E_{s,pref=100}$ [MN/m ²]	15,0 – 100,0	15,0 – 80,0	30,0

6.3 Zusammenfassung der charakteristischen Baugrundkenngrößen

Tabelle 24: Charakteristische Baugrundkenngrößen

Baugrundschicht	k_f -Wert [m/s]	Wichte [kN/m ³]	Wichte unter Auftrieb [kN/m ³]	Reibungswinkel [°]	Kohäsion [kN/m ²]	Undränierte Scherfestigkeit	Steifemodul [MN/m ²]
Klei	5×10^{-8}	15	5,0	17,5	5,0	10,0	1,0
Torf	1×10^{-6}	11,0	1,0	22,5	2,0	14,0	0,5
Sand	3×10^{-4}	18,5	9,0	32,5	10,0	-	30,0

6.4 Grundwasserbeobachtungen

Die hier darzustellenden Informationen dienen u.a. zur Beurteilung einkonzentrierter Zulassungen (konkret: Verbotsbefreiungen nach § 52 WHG) im Rahmen der Planfeststellung durch die BNetzA, auf welche in Teil K02 Voraussetzungen für Wasserrechtliche Zulassungen Bezug genommen wird.

Bei den Sondierungen stieg das Grundwasser meist nach Bohrende an, was auf einen gespannten Grundwasserspiegel unterhalb der bindigen Schichten hindeutet. Zudem wurde bei den Bohrarbeiten Stau- und Schichtenwasser angetroffen.

Aufgrund der im PFA A2 oberflächlich anstehenden wasserstauenden bindigen und organischen Schichten, bildet sich bei anhaltenden Niederschlägen Stauwasser. Unterhalb der bindigen Schichten liegt der aus silikatischem Lockergestein bestehende Grundwasserkörper „Stör – Marschen und Niederungen“ mit einer Mächtigkeit zwischen 20 m und 40 m. Durch die unmittelbare Nähe zur Elbe ist der Grundwasserstand tidebeeinflusst.

Zur Ermittlung der Grundwasserverhältnisse wurden eine Grundwassermessstelle der Baugrunderkundungen des PFAs A1 (PA1-BK-BRK-0005), zwei Grundwassermessstellen der Baugrunderkundungen des PFAs A2 (PA1-BK-Wew-0008, PA1-BK-Wis-0002), eine Grundwassermessstelle des PFAs A3 (PA1-BK-Wis-0012), sowie die insgesamt 8 Grundwassermessstellen der ElbX-Querung herangezogen.

Für die GWM aus dem PFA A1, A2 und A3 liegen Live-Aufzeichnungen ab frühestens dem 05.07.2021 vor. Die untersuchten Grundwasserstände der GWM werden aufgrund ihrer Entfernung zur Elbe nur sehr geringfügig von der Elbtide beeinflusst. (vgl. Hydrogeologisches Fachgutachten L06.1).

Die exakten Grundwasserverhältnisse werden im Hydrogeologischen Fachgutachten L06.1 wiedergegeben.

Tabelle 25: Grundwassermessstellen Schleswig-Holstein

Grundwassermessstelle	Geländeoberkante [m ü NN]	Filterlage [m u. GOK]	Schicht, die den Filter umgibt	Min. Grundwasserstand [m ü NN]	Max. Grundwasserstand [m ü NN]
ElbX					
GWM B29/19 (ElbX)	0,10	27,40 - 29,40	Weichsel (Sand / Kies)	- 0,3	0,7
GWM B31/19 (ElbX)	0,66	27,50 - 30,25	Weichsel (Sand / Kies)	- 0,8	1,3
GWM B35/19 (ElbX)	0,57	23,05 - 26,05	Weichsel (Sand / Kies)	- 0,1	1,2
GWM B42/19 (ElbX)	0,56	25,04 - 28,04	Weichsel (Sand / Kies)	-	-
A1/ A2 SH					
PA1-BK-BRK-0005 (PA1-GWM-Brk-0015)	-	-	-	-0,2	-0,05
PA1-BK-Wew-0008 (PA1-GWM-Wew-0001)	-	-	-	-3,46	-0,46

Tabelle 26: Grundwassermessstellen Niedersachsen

Grundwassermessstelle	Geländeoberkante [m ü NN]	Filterlage [m u. GOK]	Schicht, die den Filter umgibt	Min. Grundwasserstand [m ü NN]	Max. Grundwasserstand [m ü NN]
ElbX					
GWM B10/19 (ElbX)	2,23	29,00 - 31,00	Weichsel (Sand / Kies)	0,20	1,60
GWM B04/19 (ElbX)	2,76	28,2 - 31,20	Weichsel (Sand / Kies)	0,40	1,30
GWM B01a/19 (ElbX)	1,35	24,50 - 26,50	Weichsel (Sand)	0,40	1,30
GWM B01/19 (ElbX)	1,46	41,74 - 43,74	Elster (Sand)	0,40	1,20
A2 / A3 NI					
PA1-BK-Wis-0002 (PA1-GWM-Wis-0001)	-	-	-	-1,80	0,74
PA1-BK-Wis-0012 (PA1-GWM-Wis-0002)	-	-	-	-2,2	0,35

Der minimale sowie maximale Grundwasserstand der Grundwassermessstellen der ElbX-Querung wurden anhand von Ganglinien ermittelt. Der Aufzeichnungszeitraum der Pegel auf schleswig-holsteinischer Seite liegt zwischen dem 16.01.2020 (B 42/19 ab 17.04.2020) und dem 02.06.2020, der der Pegel auf niedersächsischer Seite zwischen dem 04.12.2019 und dem 31.01.2020. Auffällig dabei ist, dass sich die gemessenen Grundwasserstände kaum voneinander unterscheiden. Dabei geben sie phasenverzögert und mit stark gedämpfter Amplitude die Schwankungen der Elbtide wider. Die Grundwassermessstelle B 10/19 wurde außendeichs nahe am Elbufer errichtet. Sie weist höhere Amplituden der tidezeitlichen Schwankungen auf.

Die Grundwasserstände der Grundwassermessstellen werden mittels elektrischen Pegelschreibern dokumentiert. Sie sind den Datenlogger-Aufzeichnungen aus fortlaufendem Monitoring der Internetseite der HT Hydrotechnik GmbH entnommen.

Auf der schleswig-holsteinischen Seite schwanken die Grundwasserstände zwischen -3,46 m NN und 1,3 m NN, auf der niedersächsischen Seite zwischen -2,2 m NN und 1,6 m NN.

Weitere Informationen sind den Dokumenten Teil L06.1 – Hydrogeologisches Fachgutachten und Teil L6.4 Hydrogeologisches Gutachten mit relevanten hydrologischen Angaben ElbX zu entnehmen.

6.5 Bemessungswasserstände

Grundsätzlich muss ab Geländeoberkante mit Stau- und Schichtenwasser gerechnet werden. Das Grundwasser liegt unterhalb der bindigen Schichten im ersten Grundwasserleiter gespannt und tidebeeinflusst vor. Bemessungswasserstände des gespannten Grundwassers werden wie folgt angenommen (vgl. Wasserhaltungskonzept L06.3)

Tabelle 27: Bemessungswasserstände für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der Sturmflutzeit vom 15.09 bis 30.03

Segment 004 Seg.-km A2	Entfernung Elbe zum Bauabschnitt	Dämpfung gemäß AH04	Maßgebender bauzeitlicher Wasserstand für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen in der Sturmflutzeit vom 15.09 bis 30.03
	[m]	[%]	[mNHN]
Schleswig-Holstein			
0+000 bis 0+080	ca. 1.000	ca. 76	0,98
0+190 bis 0+410	ca. 900	ca. 75	1,03
0+910 bis 0+970	ca. 1.150	ca. 78	0,90
1+345 bis 1+400	ca. 1.150	ca. 78	0,90
1+960 bis 2+210	ca. 900	ca. 75	1,03
Niedersachsen			
7+625 bis 7+725	ca. 900	ca. 65	1,44
7+725 bis 8+010	ca. 900	ca. 65	1,44
8+355 bis 8+539	ca. 1.600	ca. 74	1,07
8+539 bis 8+589	ca. 1.600	ca. 74	1,07

Tabelle 28: Bemessungswasserstände für die Auslegung der Grundwasserförderpumpen und Wassermengen in der sturmflutfreien Zeit vom 01.04 bis 14.09 und für die Setzungsberechnungen

Segment 004 Seg.-km A2	Maßgebender bauzeitlicher Wasserstand für die Ausle- gung der Grundwasserför- derpumpen in der sturm- flutfreien Zeit vom 01.04 bis 14.09	Maßgebender bauzeit- licher Wasserstand für die Abschätzung der Wassermengen in der sturmflutfreien Zeit vom 01.04 bis 14.09	Maßgebender bauzeit- licher Wasserstand für die Setzungsberech- nung
	[mNHN]	[mNHN]	[mNHN]
Schleswig-Holstein			
0+000 bis 0+080	0,2	0,14	-0,40
0+190 bis 0+410	0,2	0,14	-0,40
0+910 bis 0+970	0,2	0,14	-0,40
1+345 bis 1+400	0,2	0,14	-0,40
1+960 bis 2+210	0,2	0,14	-0,40
Niedersachsen			
7+625 bis 7+725	0,4	0,28	0,10
7+725 bis 8+010	0,4	0,28	0,10
8+355 bis 8+539	0,4	0,28	-0,70
8+539 bis 8+589	0,4	0,28	-0,80

6.6 Ergebnisse der Untersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsversuche dargestellt. Hierbei wurde alle Ergebnisse des PFAs A2 betrachtet.

Der Stromfluss in Übertragungsleitungen verursacht eine Verlustleistung, die in Form der Verlustwärme in das Erdreich abgegeben wird. Zentral für die Abfuhr der Wärme ist die Wärmeleitfähigkeit, die das Vermögen eines Bodens beschreibt, Wärme zu transportieren. Nach DIN VDE 0276 Teil 1000 darf sich die Stromleitung im Betrieb zu keinem Zeitpunkt und zu keiner Stelle über die maximale Betriebstemperatur er-

wärmen. Die Strombelastbarkeit des Kabels hängt deshalb wesentlich von der Abfuhr der Wärme ab. Im Nahbereich des Kabels kann es aufgrund der Verlustwärme zu einer Austrocknung des Bodens kommen, wodurch sich die Wärmeleitfähigkeit verringert.

Zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit des anstehenden Bodens wurden Bodenproben aus den verschiedenen Schichten entnommen und im Labor die Wärmeleitfähigkeit dieser mittels Nadelsonden ermittelt. Um die Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Wassergehalt darstellen zu können, wurden die Proben zunächst im Wasserbad kapillar aufgesättigt, um anschließend die Wärmeleitfähigkeit über die Verdunstung bei Raumtemperatur in regelmäßigen Intervallen zu messen. Die anschließende Trocknung der Probe im Ofen bei 65 °C simuliert die mögliche maximale Austrocknung.

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Messungen tabellarisch aufgeführt. Dabei werden die Ergebnisse der Proben unterschiedlicher Bodenarten getrennt betrachtet. Die Bodenart wird definiert über die Zusammensetzung mineralischer und organischer Bestandteile. Die mineralische Fraktion kann dabei über die Korngrößenverteilung sowie über die Bestimmung der Zustandsgrenzen weiter nach DIN 18196:2011-05 klassifiziert werden, mit Hilfe dieser Böden einer Bodengruppe zugeordnet werden. Die verschiedenen festen Bodenbestandteile weisen unterschiedliche spezifische thermische Eigenschaften auf, sodass es sinnvoll ist die Bodenproben nach ihrer Zusammensetzung und ihrer Ansprache einzuteilen. Entsprechend des Modells des Bodens als Dreiphasensystem weisen die Bodenproben neben den festen Bestandteilen einen Porenraum auf, welcher mit Luft oder Wasser gefüllt ist. Da Wasser eine höhere Wärmeleitfähigkeit als Luft besitzt, ist die Wärmeleitfähigkeit des gesamten Bodens im wassergesättigten und feuchten Zustand höher als im trockenen. Neben der spezifischen Wärmeleitfähigkeit der festen Bodenbestandteile ist für die Wärmeleitfähigkeit des Bodens dementsprechend ebenfalls der Wassergehalt von entscheidender Bedeutung.

Der minimale Wassergehalt entspricht dem Wassergehalt der Bodenprobe nach der Ofentrocknung. Die Wärmeleitfähigkeit der Probe bei einem maximalen Wassergehalt bezieht sich auf einen wassergesättigten Boden mit einem Sättigungsgrad von nahezu 100 %. Zwischen diesen beiden Extremen kann der Boden einen teilgesättigten Zustand annehmen.

Die Wärmeleitfähigkeit für Torf wurde nicht im Labor untersucht, da bereits aus Literaturergebnissen abgeleitet werden kann, dass Torf eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit aufweist. Eine maximale Wärmeleitfähigkeit von ca. 0,7 W/(m*K) gemäß VDI 4640 ist im feuchten Zustand zu erwarten. Bei organischen, sowie auch bei feinkörnigen Böden ist mit Schrumpfung zu rechnen. Durch Kohäsion und Oberflächenspannung des Wassers sowie durch Adhäsion zwischen diesen und den festen Bodenbestandteilen schrumpfen diese Böden bei Austrocknung. Dies führt zunächst meist zu einem leichten Anstieg der Wärmeleitfähigkeit, da im Zuge der Schrumpfung die Dichte des Bodens zunimmt. Bei einer höheren Dichte erhöht sich die Anzahl der Kornkontaktstellen, wodurch der Wärmetransport verstärkt über das Korngerüst erfolgt. Die Schrumpfungsprozesse können jedoch Setzungen durch massive Änderungen des Bodengefüges hervorrufen. Die bei der Schrumpfung entstehenden Trocknungsrisse stellen zudem an den Entstehungsstellen Luftbarrieren dar, die an diesen Stellen für eine schlechte Wärmeabfuhr sorgen.

Tabelle 29: Wärmeleitfähigkeit Torf

	Torf (gemäß VDI 4640)	
	λ	Ma.-%
Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m*K)] bei maximalem Wassergehalt [Ma.-%]	0,7	/
Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m*K)] bei minimalem Wassergehalt [Ma.-%]	0,2	/

Bei den im Labor untersuchten Proben werden in den folgenden Tabellen die ermittelten Wärmeleitfähigkeiten bei einem maximalen sowie minimalen Wassergehalt angegeben. Die Mittelwerte beziehen sich auf alle Laborergebnisse des entsprechenden Bodens.

Insgesamt 56 Bodenproben, die aus den anstehenden Kleischichten innerhalb des PFA A2 entnommen wurden, wurden zur Untersuchung der Wärmeleitfähigkeit herangezogen. Bei den Kleiprobe n wurden insgesamt maximale gravimetrische Wassergehalte zwischen 191,1 % und 35,2 % festgestellt. Dabei wurde eine Wärmeleitfähigkeit zwischen 0,70 W/(m*K) und 1,31 W/(m*K) festgestellt. Die minimalen gravimetrischen Wassergehalte liegen zwischen 0,3 % und 3,5 %. In diesem ausgetrockneten Zustand weist der Klei noch eine Wärmeleitfähigkeit zwischen 0,28 W/(m*K) und 0,41 W/(m*K) aus.

Tabelle 30: Wärmeleitfähigkeit Klei

	Klei (n = 56)					
	Maximale Werte		Mittelwerte		Minimale Werte	
	λ	Ma.-%	λ	Ma.-%	λ	Ma.-%
Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m*K)] bei maximalem Wassergehalt [Ma.-%]	0,70	191,1	1,08	80,5	1,31	35,2
Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m*K)] bei minimalem Wassergehalt [Ma.-%]	0,41	3,5	0,39	1,5	0,28	0,3

Insgesamt 15 Bodenproben wurden der Bodenart Sand zugeordnet. Die ermittelten maximalen gravimetrischen Wassergehalte liegen zwischen 21,9 % und 48,7 %. Dabei beträgt die Wärmeleitfähigkeit zwischen 1,53 W/(m*K) und 2,42 W/(m*K). Minimale gravimetrische Wassergehalte von 0,1 % bis 1,5 % wurden festgestellt. Die Wärmeleitfähigkeit liegt dabei bei 0,28 W/(m*K) und 0,29 W/(m*K).

Tabelle 31: Wärmeleitfähigkeit Sand

	Sand (n = 15)					
	Maximale Werte		Mittelwerte		Minimale Werte	
	λ	Ma.-%	λ	Ma.-%	λ	Ma.-%
Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m*K)] bei maximalem Wassergehalt [Ma.-%]	1,53	48,7	1,76	35,9	2,42	21,9

Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m*K)] bei minimalem Wassergehalt [Ma.-%]	0,28	1,5	0,29	0,4	0,26	0,1
---	------	-----	------	-----	------	-----

Die Ergebnisse zeigen, wie zu erwarten, bei allen Bodenproben, dass die Wärmeleitfähigkeit im ausgetrockneten Zustand am niedrigsten ist. Dieser Zustand droht bei einer maximalen Erwärmung des Kabels und Ausbleiben von Grund- oder Niederschlagswasser. Er stellt jedoch einen „worst case“ dar. Der wassergesättigte Zustand kann unterhalb des Grundwasserspiegels angenommen werden. Unter üblichen Umständen wird sich jedoch meist ein teilgesättigter Zustand einstellen. Ein hoher Grundwasserstand innerhalb der Region, Schichtenwasser, die Nähe zur Elbe, sowie Niederschläge, die als Infiltrationsfront in den Boden eindringen, stehen einer möglichen Austrocknung entgegen und führen dazu, dass ein recht hoher in situ Wassergehalt der natürlich anstehenden Böden des PFA A2 angenommen werden kann. Dieses wird auch über die bestimmten Wassergehalte, die im Rahmen der bodenmechanischen Laborversuchen ermittelt wurden, deutlich. Dementsprechend können für die anstehenden Böden des PFA A2 Wärmeleitfähigkeiten angenommen werden, die für den jeweiligen Boden als hoch eingeordnet werden können. Die Ergebnisse machen jedoch auch deutlich, dass die verschiedenen Bodenarten unterschiedliche thermische Eigenschaften aufweisen. So ist die Wärmeleitfähigkeit der sandigen Böden höher als die der feinkörnigen Böden. Je höher zudem der organische Anteil ist, desto niedriger ist die Wärmeleitfähigkeit.

6.7 Ergebnisse chemisch-analytischer Untersuchungen

An den Bodenproben der verschiedenen Bohrungen wurden anhand der oberen Meter chemische Analysen durchgeführt. Zum einen wurde der Schadstoffgehalt im Rahmen des Mindestuntersuchungsumfangs der LAGA TR Boden ermittelt. Zum anderen wurde das Versauerungspotenzial des Bodens untersucht.

Da hier ein Überblick über den gesamten Planfeststellungsabschnitt gegeben werden soll, können nicht die Ergebnisse aller Proben aus den Bohrungen dargelegt werden. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Einstufungen, sowie auffällige Parameter präsentiert.

Betrachtet wurden hier die Ergebnisse der Proben aus allen Bohrungen der Querungen und Trassenabschnitte dieses Planfeststellungsabschnittes.

LAGA

Die Proben zeigen meist einen erhöhten TOC-Gehalt, welcher sich jedoch auf biogene Anteile im Boden zurückführen lässt und somit keinen Schadstoff im eigentlichen Sinn darstellt. Auch erhöhte EOX-Werte lassen sich zum Teil auf die erhöhten TOC-Gehalte zurückführen, insbesondere wenn andere organische Schadstoffe unauffällig waren. Bei hohen TOC-Gehalten ist es möglich, dass bei dem Summenparameter EOX auch geogene Substanzen mitanalysiert wurden. Der TOC-Gehalt wurde bei der Einstufung nicht berücksichtigt, da es bei den erschlossenen Böden (organogene Weichschichten) auf den organischen Anteil zurückzuführen ist.

Neben dem TOC- und EOX-Gehalt ist auch meist der Parameter Arsen im Feststoff erhöht. Im Eluat sind vor allem die elektrische Leitfähigkeit und der pH-Wert, sowie die Parameter Chlorid und Sulfat erhöht. Besonders auffällig ist dabei meist der Sulfatgehalt.

Ergibt sich im Feststoff keine Überschreitung, dann ist eine Einstufung im Eluat nicht relevant.

Nicht in allen Proben sind die aufgelisteten Parameter erhöht.

Tabelle 32: Ergebnisse Untersuchung LAGA TR Boden

Boden	Einstufung Feststoff	Einstufung Eluat
Klei	Z0 – Z2	Z0 – >Z2
Sand	Z0 – Z1	Z1.2 – Z2
Wattsand	Z0 – Z1	Z1.2 – Z2
Torf	Z1 – Z2	Z0 – >Z2

Tabelle 33: Auffällige Parameter bei Untersuchung nach LAGA TR Boden

Boden	Auffällige Parameter	Auffällige Parameter
	Feststoff	Eluat
Klei	TOC, EOX, Arsen, Zink, PAK	el. Leitfähigkeit, Sulfat, Chlorid, Arsen, Nickel
Sand	Arsen	el. Leitfähigkeit, Sulfat
Torf	TOC, EOX, Arsen	el. Leitfähigkeit, Chlorid, Sulfat, pH

PASS-Böden

Durch die chemische Untersuchung wird die Netto-Säureneutralisationskapazität SNKN bestimmt. Ist die SNKN negativ (< 0) muss von einer Versauerung des Bodens ausgegangen werden, wenn dieser in aerobe, oxidierende Verhältnisse überführt wird (z.B. durch Bodenaushub). Ist die SNKN dagegen positiv (> 0) kann der Boden eine Säurebildung abpuffern.

Tabelle 34: Versauerungsgefährdung

Querung / Trassen- abschnitt	Tiefe [m]	SNK [min./max.]	SBP [min./max.]	pH-Wert [min./max.]	SNK _N *: [mmol/kgTS] [min./max.]	Versau- erung zu er- warten
Q18	0 – 1,0	76 - 86	< 1 - < 3	6,9 – 7,3	75 - 83	Nein
	1,0 – 2,0	291 - 887	31 - 780	7,1 – 7,5	107 - 692	Nein
	2,0 – 3,0	760 – 1.390	250 – 1.170	7,1 – 7,9	-410 – 1.078	Evtl.
	3,0 – 4,0	285 - 570	468 – 1.340	7,2 – 7,8	-1.055 - 102	Evtl.
Q19	0 – 1,0	86 - 230	< 1 - < 3	6,8 – 7,3	83 - 230	Nein
	1,0 – 2,0	570 - 860	31 - 96	7,1 – 7,2	539 - 764	Nein
	2,0 – 3,0	269 – 1.480	285 - 390	7,4 – 7,6	-16 – 1.090	Evtl.
	3,0 – 4,0	376 – 1.720	190 - 936	7,3 – 7,5	-560 – 1.530	Evtl.
Q20	0 – 1,0	76 - 129	< 1 - < 3	6,6 – 7,5	75 - 126	Nein
	1,0 – 2,0	76 – 1.490	< 1 - 416	6,9 – 7,6	53 – 1.074	Nein
	2,0 – 3,0	152 – 1.940	11 - 624	7,1 – 7,9	141 – 1.705	Nein
	3,0 – 4,0	1.120 – 2.970	110 - 468	7,1 – 7,9	1.010 – 2.502	Nein
Segment 004, KM 0,0 – 1,0	0 – 1,0	26 - 676	< 3 – 1.250	6,3 – 7,2	-574 - 74	Evtl.
	1,0 – 2,0	< 1 - 645	27 – 1.870	4,7 – 7,4	-1.268 - 618	Evtl.
	2,0 – 3,0	129 – 1.340	78 – 1.660	5,9 – 7,7	-1.531 - 1262	Evtl.
	3,0 – 4,0	-	-	-	-	-
Segment 004, KM 1,2 – 2,0	0 – 1,0	60 – 1.320	< 3 - 43	6,9 – 7,6	57 – 1.317	Nein
	1,0 – 2,0	194 – 1.310	5 - 265	7,0 – 7,5	-71 – 1.232	Evtl.
	2,0 – 3,0	247 – 1.360	19 – 1.250	7,1 – 7,8	100 – 1.095	Nein
	3,0 – 4,0	-	-	-	-	-
Segment 004, KM 6,8 – 7,5	0 – 1,0	43 - 86	< 3 - 8	7,3 – 7,5	40 - 83	Nein
	1,0 – 2,0	355 – 1.130	6 - 234	7,5 – 7,6	349 - 896	Nein
	2,0 – 3,0	699 – 1.430	47 - 468	6,8 – 7,7	652 – 1.005	Nein
	3,0 – 4,0	-	-	-	-	-
Segment 004, KM 7,5 – 8,4	0 – 1,0	52 - 54	< 3	7,0 – 7,4	49 - 51	Nein
	1,0 – 2,0	13 - 624	< 3 – 58	7,1 – 7,4	10 - 566	Nein
	2,0 – 3,0	1.000 - 1.215	40 - 564	7,5 – 7,7	651 - 960	Nein
	3,0 – 4,0	-	-	-	-	-

Proben mit einer negativen Netto-Säureneutralisationskapazität können bei Belüftung (durch Aushub oder Grundwasserabsenkung) versauern. Bei den Segmenten 004 KM 6,8 – 7,5 und KM 7,5 – 8,4 sowie der Querung 20 ist in der untersuchten Tiefe keine Versauerung zu erwarten. Es handelt sich dabei um den kompletten untersuchten Abschnitt südlich der Elbe. Bei den Segmenten 004 KM 0,0 – 1,0 und 1,2 – 2,0 sowie den Querungen 18 und 19, nördlich der Elbe, ist eine Versauerung bei einem Aushub nicht auszuschließen.

7 Festlegung von Homogenbereichen

Die erschlossenen Bodenschichten werden für die Erdarbeiten sowie für die Horizontalspülbohrarbeiten in 4 Homogenbereiche untergliedert und das folgende Baugrundmodell aufgestellt. Aufgrund der Anzahl an betrachteten Bohrprofilen ist eine Tiefenangabe nicht sinnvoll. Zudem ist zu beachten, dass die bindigen Schichten sowie der Torf oft in einer Wechsellagerung auftreten.

Tabelle 35: Zuordnung Homogenbereiche

Schicht	Erdarbeiten DIN 18300	Horizontalspülbohrarbeiten DIN 18324
Oberboden	ERD-1	/
Auffüllungen (Klei, Ton, Feinsand)	ERD-2	HOR-1
Klei		HOR-2
Torf	ERD-3	HOR-3
Sand	ERD-4	HOR-4

In der nachfolgenden Tabelle finden sich die zusammengefasste Eigenschaften und Kennwerte der Bodenschichten für die jeweiligen Homogenbereiche für die Erdarbeiten nach DIN 18300:2019-09 und für Horizontalbohrarbeiten nach DIN 18324:2019-09. Für den Oberboden und die Auffüllungen wurden im Labor keine Bodenkennwerte ermittelt. Hier wurde auf Literaturwerte und Laborergebnisse der anstehenden Böden zurückgegriffen. Die Abrasivität wurde ebenfalls abgeschätzt, da der dafür vorgesehene LCPC-Test für die vorliegenden Böden nicht anwendbar ist.

Tabelle 36: Eigenschaften und Kennwerte der Baugrundsichten (Homogenbereiche Erdarbeiten „ERD“ und Horizontalzalspülbohrarbeiten „HOR“)

Homogenbereich	ERD-1	ERD-2
Name der Schicht / ortsübliche Bezeichnung	Oberboden (nicht bindig / bindig)¹	Auffüllung sowie Klei
Korngrößenverteilung mit Körnungsbändern zu überprüfen nach DIN 18123	S,u,t' / U,s,t	U,t,ms / fs / s/ gs/; T,fs,u, (ms/fs)
Bodengruppe nach DIN 18196)	SE, SU,OT,OU,TM,TA,OH	OT, OU, TM, TA
Massenanteil Steine, Blöcke und große Blöcke [%] nach DIN EN ISO 14688-1 und-2	< 5	< 5
Wichte nach DIN EN ISO 17892-2 [kN/m³]	14 - 18	14 - 16
Organischer Anteil [%] nach DIN 18128	3 - 20	3 - 30
Benennung und Beschreibung organischer Böden nach DIN EN ISO 14688-1	<i>schwach organisch bis organisch</i>	Schwach bis stark organisch
Wassergehalt [%] nach DIN EN ISO 17892-1	10 - 50	30 - 250
Kalkgehalt [%] nach DIN 18129	0 - 2	0 - 10
Plastizitätszahl I _p nach DIN 18122-1	20 - 80	21 - 80
Konsistenzzahl I _c nach DIN 18122-1	0,1 – 0,7	0,1 – 0,7
Konsistenz nach DIN 18122-1	<i>weich</i>	weich
Lagerungsdichte nach DIN EN ISO 14688-2	<i>locker bis dicht</i>	-
Kohäsion c [kN/m²] nach DIN 18137	5	5
Durchlässigkeit k _f [m/s] nach DIN 18130	1*10 ⁻⁴ bis 1*10 ⁻⁸	2,5 *10 ⁻⁷ bis 2*10 ⁻⁸
undräßierte Scherfestigkeit c _u [kN/m²] nach DIN 18137	10 -12	10 - 12
Sondierwiderstände mit Angabe des Sondierverfahrens	CPT-U, q _c = 0,2 – 0,5 MN / m² (bindiger Boden) CPT-U, q _c = 5 – 30 MN / m² nicht bindiger Boden)	CPT-U, q _c = 0,2 – 0,5 MN / m²
Abrasivität (abgeschätzt)	<i>nicht bis schwach abrasiv</i>	nicht bis schwach
Sulfatgehalt mg / l	0 - 200	1 - 640

¹ An dem Oberboden und den Auffüllungen wurden keine Laborversuche durchgeführt.Daher sind diese Werte aus Literaturwerten und den vorhanden Laborwerten der anstehenden Böden abgeleitet worden und sind kursiv dargestellt

Homogenbereich	ERD-3 - / HOR-3	ERD-4 + HOR-4
Name der Schicht / ortsübliche Bezeichnung	Torf	Sand / Wattsand
Korngrößenverteilung mit Körnungsbändern zu überprüfen nach DIN 18123	-	fS, ms, u – u*, (t)
Bodengruppe nach DIN 18196)	HN / HZ	SI / SE / SU / SU*
Massenanteil Steine, Blöcke und große Blöcke [%] nach DIN EN ISO 14688-1 und-2	< 5 ; Holzreste möglich	< 5
Wichte nach DIN EN ISO 17892-2 [kN/m³]	10,5 - 13	17 – 18,5
Organischer Anteil [%] nach DIN 18128	30 - 85	0 - 4
Benennung und Beschreibung organischer Böden nach DIN EN ISO 14688-1	stark organisch	nicht organisch bis schwach organisch
Wassergehalt [%] nach DIN EN ISO 17892-1	300 - 550	30 - 75
Kalkgehalt [%] nach DIN 18129	0	0,5 - 5
Plastizitätszahl I _p nach DIN 18122-1	-	-
Konsistenzzahl I _c nach DIN 18122-1	-	-
Konsistenz nach DIN 18122-1	-	
Lagerungsdichte nach DIN EN ISO 14688-2	-	Sehr locker bis dicht
Kohäsion c [kN/m²] nach DIN 18137	2	-
Durchlässigkeit k _f [m/s] nach DIN 18130	1*10 ⁻⁵ – 1 *10 ⁻⁸	1,7 *10 ⁻⁸ – 2,1* 10 ⁻⁴
Undränierter Scherfestigkeit c _u nach DIN 18137	8 - 16	-
Sondierwiderstände [MN/m²] mit Angabe des Sondierverfahrens	CPT-U, q _c = 0,2 – 0,4 MN / m²	CPT-U, q _c = 5 – 15 MN / m²
Abrasivität (abgeschätzt)	Nicht abrasiv	Abrasiv bis stark abrasiv
Sulfatgehalt mg / l	10 - 160	5 - 150

Homogenbereich	HOR-1	HOR-2
Name der Schicht / ortsübliche Bezeichnung	Auffüllung (Klei,Ton, Feinsand)	Klei
Korngrößenverteilung mit Körnungsbändern zu überprüfen nach DIN 18123	fS,u; U,t,s; T,u,s	U,t,ms / fs / s/ gs/; T,fs,u, (ms/fs)
Bodengruppe nach DIN 18196)	[OT / OU / SE / SU]	OU, OT, TM, TA
Massenanteil Steine, Blöcke und große Blöcke [%] nach DIN EN ISO 14688-1 und-2	< 5	< 5
Wichte nach DIN EN ISO 17892-2 [kN/m³]	16 - 18	14 -18
Organischer Anteil [%] nach DIN 18128	0 - 20	3 - 25
Benennung und Beschreibung organischer Böden nach DIN EN ISO 14688-1	Schwach bis stark organisch	Schwach bis stark organisch
Wassergehalt [%] nach DIN EN ISO 17892-1	10 - 100	30 - 250
Kalkgehalt [%] nach DIN 18129	0 - 5	0 - 5
Plastizitätszahl I _p nach DIN 18122-1	25 - 80	20 - 80
Konsistenzzahl I _c nach DIN 18122-1	0,2 – 0, 7	-0,05 – 0,7
Konsistenz nach DIN 18122-1	weich	(flüssig), breiig bis steif
Lagerungsdichte nach DIN EN ISO 14688-2	locker bis mitteldicht	-
Kohäsion c [kN/m²] nach DIN 18137	0 - 5	0 - 7
Durchlässigkeit kf [m/s] nach DIN 18130	1*10 ⁻⁴ bis 2*10 ⁻⁸	2,5 *10 ⁻⁷ bis 2,2*10 ⁻⁸
undrained Scherfestigkeit c _u [kN/m²] nach DIN 18137	10 - 12	1 - 21
Sondierwiderstände [MN/m²] mit Angabe des Sondierverfahrens	CPT-U, q _c = 1 – 21 MN / m²	CPT-U, q _c = 1 – 21 MN / m²
Abrasivität (abschätzt)	nicht bis schwach	nicht bis schwach
Sulfatgehalt mg / L	0 – 200	1 – 640

8 Überprüfung der Geotechnischen Kategorie

Die aufgrund der anzunehmenden vorzufindenden Baugrundbedingungen zunächst angenommene Geotechnische Kategorie (vgl. Kapitel 5) wird hier durch die Ergebnisse der Baugrunderkundung validiert bzw. korrigiert.

Die endgültige Einordnung der geotechnischen Kategorie, die zunächst in Kapitel 5 angenommen wurde, erfolgt nach den folgenden Kriterien gemäß DIN 4020:2010-12, in Anlehnung an die Tabelle AA1 und DIN 1054:2021-04.

Tabelle 37: Endgültige Einordnung in eine Geotechnische Kategorie

	Beschreibung	Entspricht geotechnischer Kategorie
Baugrund	Ungewöhnliche oder schwierige Baugrundverhältnisse wie weiche organische und organogene Böden größerer Mächtigkeit	GK 3
Grundwasser	Gespanntes Grundwasser kann durch Bodenaushub zu artesischem Grundwasser werden	GK 3
Sonstige Baumaßnahmen und Bauverfahren	Horizontalbohrungen mit hohen Spülungsdrücken z.B im HDD-Verfahren	GK 3

Der geotechnische Schwierigkeitsgrad der bautechnischen Maßnahme wird auf Grundlage der neuen Erkenntnisse in die höchste Kategorie (Geotechnische Kategorie GK 3 nach DIN 4020:2010-12) eingeordnet.

9 Folgerungen, Empfehlungen und Hinweise

9.1 Hinweise für die Bauausführung und geotechnische Entwurfsbearbeitung

Insgesamt ist der Baugrund in dem betrachteten Planfeststellungsabschnitt aus geotechnischer Sicht als sehr anspruchsvoll einzustufen.

Der Boden ist aufgrund des hohen Anteils an Organik und der weichen Konsistenz nicht tragfähig. Somit sind bei Belastung des Bodens (z.B. Baustellenverkehr, etc.) Sicherungsmaßnahmen wie das Auslegen von Stahlplatten und / oder der Bau von bewehrten Baustraßen nötig. Außerdem sollte der Kleiboden mit geeigneten Schüttstoffen, wie Kiese GW (Feinkornanteil < 5%), überschüttet werden.

Die Böschungen für die Erstellung der Start- und Zielschächte müssen aufgrund der geringen Scherfestigkeit des oberflächennah angetroffenen Kleis in einem stark geneigten Böschungswinkel ausgeführt werden. Ein Verbau ist bei der geringen Baugrubentiefe von 2,0 m nicht zwingend nötig. Es ist allerdings dringend darauf zu achten, die Böschungskrone nicht direkt mit Baustellenverkehr zu belasten. Entsprechende lastfreie Streifen sind zu bemessen.

Durch das gespannte Grundwasser besteht beim Aushub von Baugruben die Gefahr des Aufschwimmens. Dabei wirkt sich die Tatsache, dass die organogenen bzw. organischen Bodenschichten eine sehr geringe Wichte haben, negativ auf die Stabilität aus.

Zudem ist im Bereich des Planfeststellungsabschnittes oberflächennah mit Stau- und Schichtwasser zu rechnen, weshalb eine offene Wasserhaltung eingerichtet werden muss.

Im Weiteren werden die zwei Bauweisen (offene und geschlossene Bauweise) in Hinblick auf die Bodenverhältnisse betrachtet.

Offene Bauweise mit Schutzrohr / ohne Schutzrohr

Beide Verlegevarianten stellen jeweils eine Standardform der Erdkabelverlegung dar. Bei der Verlegung mit Schutzrohr wird in einem Arbeitsstreifen ein Graben gezogen und je nach Anforderung des Kabels und des Baugrundes Schutzrohre in erforderlichem Durchmesser und Wandstärke verlegt. Hierbei wird in der Regel je Kabel ein Schutzrohr verlegt. Die Abstände sind projekt- und abschnittsspezifisch festzulegen. Bei der Verlegung ohne Schutzrohr wird in einem Arbeitsstreifen ein Graben gezogen und das Kabel direkt in einer Bettung verlegt.

Zur Erstellung des Grabens wird der Oberboden abgezogen und seitlich gelagert. Je nach Bodenbeschaffenheit ist es erforderlich, weitere Bodenschichten getrennt zu lagern.

Bodenverhältnisse

Die Herstellung eines offenen Leitungsgrabens ist in nahezu allen anstehenden Böden möglich. In der Regel wird der Leitungsgraben mittels Bagger ausgehoben.

Wechselnde Bodenbeschaffenheit kann die Art der Grabengestaltung erheblich beeinflussen. Je nach Grabentiefe wird mit Böschung gebaut. Sollte eine Stabilität aufgrund der Bodenbeschaffenheit nicht hergestellt werden können, müssen weitere Maßnahmen wie beispielsweise temporärer Grabenverbau nötig werden. Der technische Aufwand erhöht sich dadurch.

Grundwasser

Anstehendes Grundwasser ist im gesamten Verlegebereich zu berücksichtigen. Während der Bauphase hat bei Bedarf eine Wasserhaltung zu erfolgen um Arbeiten im Graben zu ermöglichen. Dieser Zeitraum erstreckt sich von der Grabenöffnung bis zur Wiederverfüllung des Grabens. Das geförderte Wasser kann in einen nahegelegenen Vorfluter abgeführt werden, wobei hier aufgrund der örtlichen Wasserbeschaffenheit weiterer technischer Aufwand vor der Einleitung notwendig werden kann. Da die Grabenöffnungszeiten aufgrund der hohen Flexibilität bei der Verlegung der Schutzrohre minimiert werden können, hat dies auch einen positiven Einfluss auf die gegebenenfalls erforderliche Wasserhaltung. Die Belange der Wasserhaltung werden in der Unterlage L06.3 weiter ausgeführt.

Erforderliche Wasserhaltungsmaßnahmen

Grundsätzlich ist zu unterscheiden in die Entwässerung von oberflächennahem Stauwasser, die Absenkung von Grundwasser und die Entspannung von Grundwasser aus Gründen der Sicherung gegen Aufschwimmen der Grabensohle. Die Bereiche und Einflussfaktoren werden in der Unterlage L06.3 detaillierter beschrieben.

Umweltauswirkungen

Hier sind temporäre und dauerhafte Auswirkungen zu unterscheiden.

Die bauzeitlich bedingten Eingriffe können zu umfangreichen Auswirkungen bei den zu betrachtenden Schutzgütern führen. Diese werden bei der Planung berücksichtigt. Dauerhafte Auswirkungen ergeben sich in der Regel bei guter Planung und Umsetzung nicht.

In Natur- und Wasserschutzgebieten ist bei dieser Verlegeart den höheren Anforderungen hinsichtlich Auflagen der zuständigen Behörde Rechnung zu tragen. Der Schutz des Bodens wird durch geeignete Maßnahmen wie beispielsweise Bodenschutzmatten (Baggermatten, Geo-Vlies, Geoschutz-textilien, etc.) gewährleistet. Die Vermischung von Bodenarten wird durch getrennte Bodenmieten verhindert.

Risiken

Als mögliche Risiken sind hier bauzeitliche Einschränkungen (Witterung) zu sehen, die bei diesem Bauverfahren aber aufgrund der hohen Flexibilität der Grabenabschnitte minimiert werden können.

Geschlossene Bauweise (HDD)

Das „Horizontalspülbohrverfahren“ (engl. Horizontal Directional Drilling (HDD)) ist ein grabenloses (geschlossenes) Bauverfahren zur Unterbohrung u.a. von Hindernissen wie Kreuzungen, Wasserläufen und Verkehrswegen.

Bodenverhältnisse

Die im PFA A2 herrschenden Bodenverhältnisse sind insgesamt als schwierig einzustufen. Das HDD-Verfahren ist bei sorgfältiger Planung anwendbar und beherrschbar.

Grundwasser

Anstehendes Grundwasser ist im Wesentlichen nur im Bereich der Start und Zielgruben zu berücksichtigen. Innerhalb des Bohrlochs ist eine Kontrolle der Grundwassersituation durch ein geeignetes Bohrspülungsmanagement gegeben.

Setzungen

Zu Setzungen kann es beim HDD Verfahren aufgrund von instabilen Bohrlochverhältnissen kommen. Je oberflächennaher die Bohrung verläuft oder je geringer die Über-

deckung ist, desto größer ist die Auftretenswahrscheinlichkeit von Setzungen aufgrund der weichen bis flüssigen Böden. Aus diesem Grund ist besonders im Bereich der Start- und Zielgrube und unter Hindernissen die Bohrung so zu planen, dass keine Setzungen auftreten. Dies erfolgt durch geeignetes Spülungsmanagement und gegebenenfalls durch weitere unterstützenden Maßnahmen wie temporäre Bohrlochstabilisierung. Generell ist die Bohrlochstabilität aufgrund der weichen bis flüssigen Böden nicht überall gegeben.

Umweltauswirkungen

Das HDD Verfahren ist ein Verfahren, das gerade auch im Bereich sensibler Umwelt zum Einsatz kommt. Die Auswirkungen beim HDD beschränken sich im Wesentlichen auf den Bereich der benötigten BE Flächen im Start- und Zielbereich auf denen Befestigungen und Gruben zu erstellen sind. Unerwünschte Auswirkungen auf die Umwelt können durch die Bohrung selbst nur im Fall einer Havarie entstehen.

Risiken

Das HDD Verfahren ist als ein ausgereiftes und sicheres Verfahren einzustufen. Als Risiko ist der unkontrollierte Austritt von Bohrspülung an die Oberfläche (Ausbläser) aufzuführen.

Verwertung entsprechend der chemisch-analytischen Untersuchungen

Aus dem Vergleich der Analyseergebnisse mit den Zuordnungswerten gemäß LAGA M20 für die Feststoffe und Eluate ergeben sich resultierende Zuordnungen zu Einbauklassen, die die Verwertbarkeit der mineralischen Abfälle regeln.

Z 0 Einbauklasse 0	uneingeschränkter Einbau
Z 1 Einbauklasse 1	eingeschränkter offener Einbau
Z 1 Einbauklasse 1.1	eingeschränkter offener Einbau auch bei ungünstigen hydrogeologischen Bedingungen
Z 1 Einbauklasse 1.2	eingeschränkter offener Einbau bei günstigen hydrogeologischen Bedingungen
Z 2 Einbauklasse 2	eingeschränkter Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen

Mit einer Zuordnung in die Einbauklasse 1 (1.1 als auch 1.2) kann der Boden als mineralischer Abfall offen auf Flächen verwertet werden, die im Hinblick auf ihre Nutzung als unempfindlich anzunehmen sind. Eine Gefahr für das Schutzgut Grundwasser ist nicht zu besorgen.

Dies sind Flächen vornehmlich im Straßen- und begleitenden Erdbau sowie Flächen, die als Industrie-, Gewerbe- und Lagerflächen dienen.

Der Abstand zum Grundwasser sollte von der Basis des eingebauten mineralischen Abfalls mindestens 1 m betragen.

Mit einer Zuordnung in die Einbauklasse 2 kann der Boden als mineralischer Abfall noch unter Beachtung von definierten technischen Sicherungsmaßnahmen verwertet werden. Hierbei muss der Abstand zum Grundwasser ebenfalls mindestens 1 m betragen, zusätzlich ist der mineralische Abfall mit definierten Deckschichten (Mächtigkeit $d > 0,5$ m und k_f -Wert $< 10^{-8}$ m/s) zzgl. einer noch darüber verorteten Rekultivie-

rungsschicht oder aber mit wasserundurchlässigen technischen Schichten, z.B. Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht, zu überdecken, um eine Durchsickerung mit Niederschlagswasser dauerhaft zu unterbinden.

Eine Verwertung in Großbaumaßnahmen ist zu bevorzugen, bei denen auch später mit wenigen nachträglichen Öffnungen der wasserundurchlässigen Deckschichten, z.B. zu Reparaturzwecken, auszugehen ist. Hier bietet sich z.B. eine Verwertung in Lärmschutzwällen, im Straßen- und Wegebau insbesondere in der Anlage großer Verkehrsflächen (Hafenbau, Güterverkehrszentren, etc.) an.

Bei einer Verwertung im Straßenbau sind neben der Schadstoffbelastung auch die bodenmechanischen Eigenschaften, u. a. die Eignung als Frostschutz- oder als Tragschicht, zu berücksichtigen.

Mit einer Einstufung > Z 2 gilt der mineralische Abfall automatisch als gefährlicher Abfall. Eine Verwertung ist damit ausgeschlossen.

Mineralische Abfälle mit der Einstufung > Z 2 müssen dann zusätzlich gemäß dem erweiterten Parameterumfang der Deponieverordnung (DepV) untersucht werden, um die Art der Deponierung und den Verbleib des mineralischen Abfalls zu klären.

Umgang mit PASS-Böden

- Aushub von PASS-Böden nicht mit unbelasteten Böden vermengen
- Schichtenweiser Aus- und Wiedereinbau
- Die Zwischenlagerung der Pass-Böden sollte nach Möglichkeit nur auf angrenzenden Flächen, möglichst mit gleichartiger Vorbelastung stattfinden
- Lagerungszeiten nach Möglichkeit gering halten (< 1 Woche) und ggf. das Material vor Austrocknung schützen (z.B. Befeuchtung oder Folie)
- Eine Wasserhaltung ist das notwendigste Maß zu beschränken, da sonst die Gefahr einer Belüftung der Böden droht
- Ggf. ist das Einbaumaterial zu kalken, um Versauerungstendenzen, die beim Umlagern der Böden entstanden sind, zu neutralisieren

9.2 Überschlägliche Sicherheitsnachweise

Der Nachweis wird im Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstand-sicherheit (GEO-3) in der Bemessungssituation BS-T nach EC7-1 (DIN 1054:2021-04) geführt.

Der Nachweis wird im undränierten Zustand geführt. Als Berechnungsgrundlage wird folgende Geometrie angenommen:

- 45° Böschungsneigung
- Ohne Schutzrohr
- Achsabstand = 10 m
- Grabentiefe = 2 m
- Keine Überholspur

Zur Berechnung wurden ebenfalls die anstehende Geologie sowie die charakteristischen Baugrunderkenngrößen und die Grundwasserverhältnisse herangezogen.

Es ergeben sich dabei aufgrund der anzunehmenden Lasten der Baustraßen, der Bodenmieten und der allgemeinen Verkehrslast folgende Ergebnisse:

- Mindestabstand der Baustraße: 9,50 m
- Mindestabstand Bodenmiete Stammstrecke: 3,50 m

Die Abstände zum Kabelgraben haben sich gegenüber der hier verwendeten Abstände erhöht. Der Regelarbeitsstreifen ist jedoch im betrachteten Planfeststellungsabschnitt A2 nicht angewendet worden, sodass es keiner Änderung bedarf.

9.3 Setzungen und Setzungsunterschiede

Oberflächennah liegen setzungsempfindliche und stark humose Böden vor, welche sich bei Belastung konsolidieren. Der darunter liegende Wattsand kann sich aufgrund seiner teilweisen sehr lockeren Lagerung ebenfalls bei Belastung setzen.

Gemäß der Unterlage L 06.3 – Wasserhaltungskonzept ist im Bereich Niedersachsen bei ca. KM 7+653 bis KM 8+143 das Setzungspotenzial sehr hoch einzustufen. Infolge von Entspannung oder Absenkung stehen Böden nicht mehr unter Auftrieb. Daraus resultiert ein höheres, effektives Gewicht, welches auf die darunterliegenden Weichböden drückt. Durch Auftriebsentzug und damit einer angenommenen Wichtenzunahme der entwässernden Weichböden wird rechnerisch ein Bauwerk im 25 m Entfernung zum Graben auf maximal 10,0 cm geschätzt. Hierbei handelt es sich um einen rechnerischen Wert. In der Realität werden diese starken Setzung sehr wahrscheinlich nicht im vollen Umfang eintreten. Der Hauptgrund dafür ist die zeitliche Begrenzung der Wasserhaltungsmaßnahmen, auch durch die gewählte Bauweise mit Kabelschutzrohr. Dies reduziert die Dauer der Wasserhaltungsmaßnahmen zusätzlich.

Zu Setzungen im Nachgang der Baumaßnahme kann es bei nicht ordnungsgemäßen Wiedereinbau des Grabenaushubs kommen. Bei korrektem Wiedereinbau sind Setzungen nicht zu erwarten. Das ausgehobene Bodenmaterial wird nach Bodenschichten getrennt gelagert und anschließend schichtengetreu wieder eingebaut. Bei den angetroffenen Bodentypen geht eine Gefährdung durch den Einsatz von schweren Geräten oder Arbeiten bei einem zu feuchtem Bodenzustand aus. Dabei können irreversible Bodenverdichtungen auftreten.

An unterschiedlich gegründeten Bauwerken kann es zusätzlich auch zu Setzungsunterschieden kommen. An den Übergängen zu den verschiedenen Bauwerken ist ein solcher Sachverhalt zu berücksichtigen, damit es zu keiner Beschädigung / Beeinträchtigung des Kabelbauwerks kommt.

Eine abschließende Bewertung sowie die Festlegung von erforderlichen Maßnahmen zu Setzungsbegrenzungen sind in weiteren Planungsschritten durchzuführen.

9.4 Wasserhaltung

Genauere Informationen zur Wasserhaltung sind dem Wasserhaltungskonzept (L06.3 Wasserhaltungskonzept) zu entnehmen. Durch das gespannte Grundwasser kann, je nach Aushubbreite und -tiefe sowie Elbwasserstand, eine Grundwasserentspannung notwendig werden, um die Auftriebssicherheit der Baugruben zu gewährleisten. Zusätzlich sind zum Auffangen und Ableiten von Stau-, Schichten- und Oberflächenwasser Drainagen notwendig.

10 Bewertung der Untersuchungsergebnisse und ggf. Empfehlung für weitere Erkundungsarbeiten

Mit den vorliegenden Untersuchungsergebnissen kann der Baugrund für die Bau-
maßnahme der geschlossenen Querung nicht überall hinreichend beschrieben wer-
den. Zum Zeitpunkt der Planung der BGU wurde eine offene Bauweise im Bereich
SH vorgesehen. Der Boden ist jedoch nach erfolgter Erkundung und Auswertung als
schlechter zu bewerten, als zunächst angenommen. Durch die Erkenntnisse der zwei-
ten Bohrkampagne wurde nun eine geschlossene Bauweise nötig. Daher sind weitere
Erkundungsbohrungen und / oder Sondierungen stellenweise vonnöten, werden hier
jedoch vorab mit Altbohrungen abgeglichen, um auch die tieferen Schichtverläufe
nachvollziehen zu können. Im Rahmen einer künftigen geplanten dritten Bohrkam-
pagne werden weitere Erkundungsbohrungen zur Untersuchung tieferer Boden-
schichten erfolgen.

Um die Bodenparameter, welche stellenweise aus der Literatur abgeleitet wurden zu
validieren, können optional noch folgende Versuche durchgeführt werden:

- Bestimmung der Scherfestigkeit mittels Triaxialversuch oder Flügelsondenver-
such
- Bestimmung der Feuchtwichte
- Bestimmung der hydraulischen Durchlässigkeit mittels Pegelpumpversuch

Zudem können die Ergebnisse dieser Untersuchung mit den Ergebnissen von ande-
ren naheliegenden Querungen bzw. Streckengutachten verglichen werden.

11 Verzeichnisse

11.1 Literaturverzeichnis

Augner, D. (2011): Laborversuche an Bodenproben – Ermittlung von Bodenkenngößen. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Baugrundaufschlüsse: Planung, Ausschreibung, Durchführung, Überwachung und Interpretation. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. <https://hdl.handle.net/20.500.11970/101802>

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (o. J.): Geoviewer. URL: <https://geoviewer.bgr.de/mapapps4/resources/apps/geoviewer/index.html?lang=de> , zuletzt abgerufen am 15.03.2022

Brockmann, C. (1940): Diatomeen als Leitfossilien in Küstenablagerungen. In: Westküste 2, Doppelheft 2/3. Heide, Holstein: Boyens. S. 150-181.

Grundbauingenieure Steinfeld und Partner (2022): Geotechnische Untersuchungen ElbX (Teil L01.2) - PFA A2, Dok.-ID: ILF-000750, Rev. 01, Stand 07.02.2022

HafentechnischeGesellschaft e.V. / Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (Hrsg.) (2020): Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen – EAU, 2020. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG

Hölting, B., Coldewey, W. G. (2013): Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. 8. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, Springer-Verlag GmbH. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59667-8>

HT- Analytics (o. J.): Grundwassermessstellen. URL: <https://www.ht-analytics.de/>, zuletzt abgerufen am 22.03.2022

ILF Consulting Engineers (2021): Trassierungstechnischer Teil – PFA A2, Teil C01, Stand 04.11.2021

ILF Consulting Engineers (2021): Kreuzungsverzeichnis – PFA A2, Teil C08, Rev. 00, Stand 05.11.2021

ILF Consulting Engineers (2022): Geotechnische Untersuchungen ElbX – PFA A2, Teil L01.2, Rev. 01, Stand 31.01.2022

ILF Consulting Engineers (2022): Hydrologisches Fachgutachten – PFA A2, Teil L06.2, Rev. 03, Stand 27.04.2022

ILF Consulting Engineers (2022): Hydrogeologisches Fachgutachten – PFA A2, Teil L06.1, Rev. 03, Stand 27.04.2022

ILF Consulting Engineers (2022): Wasserhaltungskonzept – PFA A2, Teil L06.3, Rev. 03, Stand 27.04.2022

ILF Consulting Engineers (2022): Unterlage zur Bodendenkmalpflege– PFA A2, Teil L07, Rev. 03, Stand 03.05.2022

ILF Consulting Engineers (2022): Abwägungsrelevante sonstige öffentliche und private Belange – PFA A2, Teil L10, Rev. 04, Stand 20.04.2022

ILF Consulting Engineers (2022): Bodenschutzkonzept – PFA A2, Teil L02.1, Rev. 05, Stand 16.05.2022

LAGA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall) (2004): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfälle: Teil II: Technische Regeln für die Verwertung. 1.2 Bodenmaterial (TR Boden)

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume Schleswig-Holstein (o. J.) : Landwirtschafts- und Umweltatlas. URL: <http://www.umweltdaten.landsh.de/atlas/> , zuletzt abgerufen am 02.03.2022

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume Schleswig-Holstein, Geologischer Dienst (Hrsg.) (2012): Geologische Übersichtskarte von Schleswig-Holstein 1:250.000. Flintbek: : Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (©LBEG) (o. J.): NIBIS® Kartenserver. Niedersächsisches Bodeninformationssystem. Verschiedene Themenkarten. URL: <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/>, zuletzt abgerufen am 20.03.2022

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (©LBEG) (Hrsg.) (2010): Geofakten 25, Handlungsempfehlung zur Bewertung aus (potenziell) sulfatsauren Sedimenten. https://dx.doi.org/10.48476/geofakt_25_1_2010. Hannover

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (©LBEG) (Hrsg.) (2018): Geofakten 24, Sulfatsaure Böden in niedersächsischen Küstengebieten: Entstehung, Vorkundung und Auswertungskarten. Hannover

Look, B (2014): Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables. Second Edition. London: Taylor & Francis Group

Prinz, H., Strauß, R. (2018): Ingenieurgeologie. 6. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, Springer-Verlag GmbH. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54710-6>

Robertson, P. K.; K. L. Cabal (2015): Guide to Cone Penetration Testing für Geotechnical Engineering. 6th Edition. Californien: Gregg Drilling & Testing, Inc.

TUM – Zentrum Geotechnik (Hrsg.) (o. J.): Skript Geotechnik. München: Technische Universität München

11.2 Quellenverzeichnis der Bezugsregelwerke

DIN 1054:2021-04: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1

DIN 4020:2010-12: Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2

DIN 4124:2012-01: Baugruben und Gräben - Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten

DIN 18128:2002-12: Baugrund – Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des Glühverlustes

DIN 18129:2011-07: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Kalkgehaltsbestimmung

DIN 18196:2011-05: Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke

DIN 18300:2019-09: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Erdarbeiten

DIN 18324:2019-09: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Horizontalspülbohrarbeiten

DIN 19639:2019-09: Bodenschutz bei Planung und Durchführung von Bauvorhaben

DIN EN 1997-1:2014-03: Eurocode 7 - Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009 + A1:2013

DIN EN ISO 14688-2:2020-11: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden – Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen (ISO 14688-2:2017); Deutsche Fassung EN ISO 14688-2:2018

DIN EN ISO 17892-1:2015-03: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 1: Bestimmung des Wassergehaltes (ISO 17892-1:2014); Deutsche Fassung EN ISO 17892-1:2014

DIN EN ISO 17892-4:2017-04: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 4: Bestimmung der Korngrößenverteilung (ISO 17892-4:2016); Deutsche Fassung EN ISO 17892-4:2016

DIN EN ISO 17892-12:2020-07: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 12: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenzen (ISO 17892-12:2018); Deutsche Fassung EN ISO 17892-12:2018

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 22475-1:2006²

DIN EN ISO 22476-1:2013-10: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 1: Drucksondierungen mit elektrischen Messwertaufnehmern und Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck

DIN EN ISO 22476-2:2012-03: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 2: Rammsondierungen (ISO 22476-2:2005 + Amd 1:2011); Deutsche Fassung EN ISO 22476-2:2005 + A1:2011

DIN VDE 0276-1000:1995-06: Starkstromkabel - Teil 1000: Strombelastbarkeit, Allgemeines, Umrechnungsfaktoren

VDI 4640: Blatt 1:2010-06, Thermische Nutzung des Untergrunds – Genehmigungen, Umweltaspekte

² ersetzt durch DIN EN ISO 22475-1:2022-02; Zum Zeitpunkt der Untersuchung war die genannte Norm aktuell