Anlage 22.1.1.3

Geotechnik, Umweltgeotechnik, Bodenmanagement
Institut für Erd- und Grundbau
Bauüberwachung
Verkehrsanlagen
Bahnanlagen, Leit- und Sicherungstechnik
Projektmanagement

GTU
INGENIEURGESELLSCHAFT

GTU Ingenieurgesellschaft mbH
Sahlkamp 149
30179 Hannover
Telefon 0511 / 9 08 99 – 0
Telefax 0511 / 9 08 99 – 25
e-mail gtu.hannover@gtu-online.de
Internet www.gtu-online.de

Berlin, Hamburg, Hannover

Vierstreifiger Ausbau der B 207 zwischen Heiligenhafen Ost und Puttgarden

---

Baugrundbegutachtung in 2 Phasen

Phase 1

Auftraggeber: **Straßenbauverwaltung des Landes Schleswig-Holstein**
Vertreten durch:
Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr, Niederlassung Lübeck
Jerusalemsberg 9
23568 Lübeck

GTU Projekt-Nr.: **1508006**

Datum: **24.09.2008**

Bearbeiter: **Dr. Heinrich Berner,** Dipl. Geologe
Dipl.- Ing. Andreas Tröger

Berater: **Prof. Dr.- Ing. Ernö Biczók**

Grundlage der Entscheidung
vom 31.01.2019
Az.: APV-622.228-16.1-1
Dieser Plan ist Bestandteil der vorbezeichneten Entscheidung. Für die Angabe der Rechtsgrundlage und deren Fundstelle wird auf die Entscheidung verwiesen.

Kiel, den 31.01.2019
Amt für Planfeststellung Verkehr
-Planfeststellungsbehörde-

gez. Dörte Hansen

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	Vorgang und Aufgabenstellung	1
2	Bearbeitungsunterlagen	1
3	Streckenverlauf	2
4	Baugrund	3
4.1	Geologischer Überblick	3
4.2	Art und Umfang der Untersuchungen	3
4.3	Beschreibung der angetroffenen Bodenarten	4
4.4	Bautechnische Eigenschaften der Bodenarten	5
5	Hydrologische Situation	6
5.1	Gewässer	6
5.2	Wasser im Baugrund	6
6	Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche	8
7	Ergebnisse der chemischen Laboruntersuchungen	9
7.1	Probenmaterial	9
7.2	Untersuchungsparameter und Bewertungskriterien	10
7.3	Analysenergebnisse	11
7.4	Bewertung der Untersuchungsergebnisse	13
7.4.1	Bewertung der Untersuchungsergebnisse nach LAGA M 20	13
7.4.2	Bewertung der Untersuchungsergebnisse nach Bundesbodenschutzverordnung	13
8	Bodenmechanische Kennwerte	13
9	Folgerungen für den Ausbau der Strecke	15
9.1	Frostempfindlichkeit	15
9.2	Eignung des Untergrundes zur Versickerung von Niederschlagswasser	15
9.3	Tragfähigkeit und erforderliche Maßnahmen	16
9.4	Beurteilung der Materialeignung der Bodenarten	17
10	Hinweise zum Dammbau	18
11	Allgemeine Angaben zu Böschungsneigungen bei Ab- und Auftrag	18
12	Allgemeine Angaben zu Bauwerksgründungen	19
13	Variantenuntersuchung im Bereich der Anschlussstelle Puttgarden	19
14	Hinweise zu den Erdarbeiten	20
15	Sonstige Hinweise und Empfehlungen	20
16	Zusammenfassung	21

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Übersichtskarte und Lagepläne
Anlage 1.1	Übersichtskarte
Anlage 1.2	Lagepläne mit Baugrundaufschlüssen
Anlage 1.3	Tabellarische Aufstellung der Grunddaten der Kleinbohrungen mit Angabe der Grundwasserstände
Anlage 2	Längsschnitte der Baugrundaufschlüsse
Anlage 3	Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche
Anlage 3.1	Übersichtstabelle
Anlage 3.2	Korngrößenverteilungen
Anlage 3.3	Zustandsgrenzen

Anhang - Dokumentation der Baugrunderkundungen

Anhang A	Schichtenverzeichnisse der Kleinbohrungen
Anhang B	Prüfbericht des Chemischen Labors

Hinweis zur Anlage 22.1.1.3:

Die in diesem Dokument auf S. II genannten Anlagen und Anhänge sind der Planfeststellungsunterlage "Vierstreifiger Ausbau der B 207 zwischen Heiligenhafen Ost und Puttgarden" zu entnehmen.

1 Vorgang und Aufgabenstellung

Die Straßenbauverwaltung des Landes Schleswig-Holstein, vertreten durch den Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr, Niederlassung Lübeck, plant den vierstreifigen Ausbau der Bundesstraße B 207 zwischen Heiligenhafen Ost und Puttgarden.

Die GTU Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover, wurde im Rahmen dieses Projektes mit einer Baugrundbeurteilung und geotechnischen Beratung in 2 Phasen beauftragt. Der Bearbeitungsumfang ist im Vertrag vom 14.03.2008 zusammengestellt.

Das vorliegende Baugrundgutachten beinhaltet die 1. Phase.

2 Bearbeitungsunterlagen

Zur Bearbeitung dieses Baugrundgutachtens standen uns folgende Unterlagen zur Verfügung:

2.1 Unterlagen zu bestehenden Bauwerken, erhalten vom Auftraggeber am 12.03.2008

2.1.1 Gutachten des geologischen Landesamtes Schleswig-Holstein zu den Baugrundverhältnissen des Leergerüstes der Brücke in Todendorf (Fehmarn), 1961

2.1.2 Gutachten des geologischen Landesamtes Schleswig-Holstein über die Baugrundverhältnisse für die Überführung der L.I.O. 61, Burg – Puttgarden über die Vogelfluglinie bei Todendorf (Fehmarn), 1959

2.1.3 Schichtenverzeichnisse von Bohrungen in Großenbrode, Heinrich Stade, Heide, 1960

2.1.4 Bericht über den Bodenaufbau in der Großenbroder Aue, Dr. Norbert Pieles, Kiel, 1960

2.1.5 Gutachtliche Stellungnahme des geologischen Landesamtes Schleswig-Holstein zu den Baugrundverhältnissen der Brücke Klaustorfer Weg bei Heiligenhafen, 1961

2.2 Vierstreifiger Ausbau der B 207 zwischen Heiligenhafen Ost und Puttgarden, Voruntersuchung Straße. GUB Ingenieur AG, Erfurt, erhalten 12.03. und 10.09.2008

2.3 Schichtenverzeichnisse der 2008 ausgeführten Kleinbohrungen entlang der Trasse der B 207 von Heiligenhafen Ost nach Puttgarden, Dipl.- Ing. Peter Neumann, Baugrunduntersuchung GmbH & Co. KG, Eckernförde, erhalten 06. und 07. 2008

2.4 A1 (B 207) – Hinterlandanbindung Fehmarnbeltquerung, Vermessungsarbeiten für Baugrundaufschlüsse, Gerd Biethahn und Partner, Ingenieurbüro für Vermessung und Bauwesen, Bad Segeberg, erhalten als Excel-Datei 04.08.2008

2.5 LAGA M 20 - Länderarbeitsgemeinschaft Abfall: Anforderungen für die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen / Abfällen. Technische Regeln, 24.08.2006

2.6 Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), 12. Juli 1999

3 Streckenverlauf

Die zu untersuchende Strecke von Heiligenhafen Ost nach Puttgarden, vgl. Anlage 1.1, mit einer Streckenlänge von rd. 20 Kilometern wird im Wesentlichen parallel zu der bestehenden Bundesstraße B 207 bzw. in deren Trassenverlauf geführt. Die im Trassenverlauf gelegenen kreuzenden Bauwerke, 4 Anschlussstellen und eine Tankstelle sind in der folgenden Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1 Kreuzende Bauwerke: Über- und Unterführungen, Durchlässe sowie Tank- und Anschlussstellen

Station [km]	Objekt
0 + 720	K 42 Unterführung
1 + 000	Durchlass
1 + 430	Durchlass
2 + 215	Überführung Wirtschaftsweg
4 + 000	Großenbroder Aue
4 + 760	Überführung K 42
9 + 550	Überführung Wirtschaftsweg
10 + 950	Überführung L 217
14 + 075	Überführung L 209
16 + 510	Überführung Wirtschaftsweg
17 + 110	Durchlass
17 + 570	Überführung Wirtschaftsweg
18 + 715	Überführung K 49
4 + 680 bis 5 + 000	Anschlussstelle Großenbrode
5 + 250 bis 5 + 370	Tankstelle links und rechts
10 + 630 bis 11 + 270	Anschlussstelle Avendorf
13 + 870 bis 14 + 350	Anschlussstelle Burg
19 + 000 bis 19 + 600	Anschlussstelle Puttgarden

Bis rd. Station 2+200 verläuft die Trasse in Dammlage mit Dammhöhen bis zu 4 m. Bis rd. Station 2+850 folgt ein annähernd geländegleicher Abschnitt der bis rd. Station 4+400 wieder auf einem bis zu 4 m hohen Damm auch das Großenbroder Haff mit Großenbroder Aue quert. Bis Station rd. 4+900 folgt ein flacher Einschnitt mit Tiefen bis zu 2 m. Bis zum Beginn der Rampe zur Fehmarnsundbrücke bei rd. Station 6+150 verläuft die Trasse geländegleich. Die Fehmarnsundbrücke mit ihren Rampen ist nicht Gegenstand dieses Gutachtens. Auf Fehmarn verläuft die Trasse bis rd. Station 11+650 in Dammlage mit Dammhöhen bis zu 4 m. bis zum Ende der untersuchten Trasse bei Puttgarden liegt der Trassenverlauf überwiegend nahezu geländegleich bzw. in leichten Hang- und Dammlagen mit Höhen von maximal 1,5 m.

Im Bereich der Anschlussstelle Puttgarden sind Varianten der Trassenführungen und Anschlussfahrbahnen untersucht worden, siehe Unterlage 2.2.

4 Baugrund

4.1 Geologischer Überblick

Der Baugrund besteht im Wesentlichen aus Geschiebeböden auf denen lokal sandige Ablagerungen aufliegen. Unterhalb der Geschiebeböden folgen Sande. In und über den Geschiebeböden und den Sanden sind Steine bis hin zu Blöcken in Form von Findlingen zu erwarten.

Lokal sind organische Schichten als Torfe und Mudden sowie Beckenablagerungen vorhanden.

4.2 Art und Umfang der Untersuchungen

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse wurden entlang der geplanten Trasse in einem Abstand von rd. 200 m insgesamt 118 Kleinbohrungen (BS 36, DIN 4021) bis in Tiefen zwischen 5 m bis 15 m unter Geländeoberkante (GOK) niedergebracht. Die Bohransatzunkte wurden nach Auswertung der Unterlagen aus 2.1 und auf der Grundlage einer Streckenbegehung als geotechnisches Untersuchungsprogramm von der GTU vorgeschlagen. Die endgültige Festlegung erfolgte vor Ort durch die Bohrüberwachung des Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr.

Die Baugrunderkundungen wurden von der Firma Dipl.- Ing. Peter Neumann, Baugrunduntersuchung GmbH & Co. KG, Eckernförde, im Auftrag des Landesbetriebs Straßenbau und Verkehr, Niederlassung Lübeck, durchgeführt. Die Bohrüberwachung erfolgte ebenfalls durch den Landesbetriebs Straßenbau und Verkehr.

Zur Erstellung des vorliegenden Gutachtens wurden der GTU die Schichtenverzeichnisse, Unterlage 2.3, sowie die entnommenen Bodenproben übergeben.

Eine Übersicht der durchgeführten Baugrundaufschlüsse und deren Grunddaten sind der Anlage 1.3 zu entnehmen. Die darin für diese Ansatzpunkte angegebenen Stationen entsprechen der vorgegebenen Trassenkilometrierung.

Die Lage der Bohransatzpunkte ist auf dem Lageplan in Anlage 1.2 dargestellt. Die Einmessung der Ansatzpunkte nach Lage und Höhe erfolgte durch Gerd Biethahn und Partner, Ingenieurbüro für Vermessung und Bauwesen, Bad Segeberg.

Die Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse sind in den Schichtenverzeichnissen nach DIN 4021 der Bohrfirma im Anhang A beigefügt.

Im bodenmechanischen Labor der GTU erfolgte die Überprüfung und ggf. Korrektur der Benennung und Beschreibung der angetroffenen Bodenarten. Anhand dieser Bodenansprache sowie der Ergebnisse der durchgeführten Laborversuche wurden Bohrprofile nach DIN 4023 erstellt. Dabei wurden sowohl die Korngrößenverteilung als auch das

bodenmechanische Verhalten der jeweiligen Bodenarten berücksichtigt. Diese Bohrprofile sind in den Längsschnitten der Anlage 2 dargestellt.

4.3 Beschreibung der angetroffenen Bodenarten

Nach den Ergebnissen der Baugrundaufschlüsse ergibt sich entlang der Trasse ein im Wesentlichen einheitlicher Baugrundaufbau.

Überwiegend stehen unterhalb von Oberboden bzw. Dammschüttungen aus Sanden und Schluffen Geschiebelehm und Geschiebemergel an, die zum Teil von Sandlagen durchzogen sind. Lokal sind die Geschiebeböden von Sanden überlagert.

Bereichsweise wurden im Trassenverlauf Beckenablagerungen als Beckenschluff und -ton angetroffen.

In einem kurzen Abschnitt bei Station rd. 3+400 wurden in einer verlandeten, früher zum Großenbroder Haff gehörenden, Rinne unterhalb von Oberboden oberflächennah organische Böden in Form von Torfen und Mudden erbohrt. In der nordöstlich davon gelegenen Teilstrecke durch das eigentliche, heute teilverlandete Großenbroder Haff wurde an der Großenbroder Aue um die Station rd. 4+000 unter geringmächtigen Torfen bis in größere Tiefen von max. 14 m u. GOK eine sandgefüllte Rinnenstruktur im Untergrund angetroffen.

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich bei den bindigen Böden, Geschiebeböden, Beckenablagerungen und Mudden, um stark wasser- und frostempfindliche Böden handelt, die weiterhin empfindlich gegenüber mechanischen Belastungen sind.

Der Baugrundaufbau entlang der Trasse ist auf der Grundlage der aus den Bohrergebnissen erstellten Bohrprofilen in Anlage 2 dargestellt.

Nachfolgend werden die einzelnen angetroffenen Bodenarten bodenmechanisch beschrieben.

Dammschüttung:

Die Dammschüttung besteht überwiegend aus aufgefüllten, locker bis mitteldicht bzw. mitteldicht gelagerten Sanden mit wechselnden schluffigen und kiesigen Beimengungen sowie aufgefüllten steifen bzw. steifen bis halbfesten stark sandigen Schluffen mit wechselnden tonigen und kiesigen Beimengungen. Die Lagerungsdichte der aufgefüllten Sande wurde anhand der Beobachtungen zum Bohrfortschritt abgeschätzt. Im Zuge der 2. Phase der Baugrundbegutachtungen sind an ausgewählten Standorten schwere Rammsondierungen angeraten.

Oberboden:
Bei dem Oberboden handelt es sich um humose Sande in lockerer Lagerung sowie um humose Schluffe in weicher bis steifer Konsistenz.

Geschiebelehm und Geschiebemergel:
Hierbei handelt es sich bodenmechanisch um schwach tonige bis tonige, stark sandige und schwach kiesige Schluffe. Die Konsistenz der Geschiebeböden variiert zwischen steif und halbfest. In Einzelfällen wurden auch weiche bis steife Konsistenzen der Geschiebeböden angetroffen und ermittelt.

Sand:
Bei den Sanden und den Sandzwischenlagen handelt es sich überwiegend um locker bis mitteldicht und mitteldicht gelagerte Sande mit wechselnden schluffigen und kiesigen Beimengungen. Die Lagerungsdichte der Sande wurde anhand der Beobachtungen zum Bohrfortschritt abgeschätzt. Im Zuge der 2. Phase der Baugrundbegutachtungen sind an ausgewählten Standorten schwere Rammsondierungen angeraten.

Beckenton und Beckenschluff:
Bei den Beckentonen handelt es sich überwiegend um schluffige Tone mit vernachlässigbaren Sandanteilen. Untergeordnet wurden auch Beckentone mit schwach sandigen Beimengungen erbohrt. Die Beckenschluffe setzen sich überwiegend aus tonigen und sandigen Schluffen zusammen. Die Konsistenz der Beckenablagerungen variiert zwischen weich bis steif und halbfest.

Torfe und Mudden:
Die Torfe sind als nicht mineralische organische Böden zu bezeichnen. Bei den Mudden handelt es sich überwiegend um organische und tonige Schluffe in weicher Konsistenz.

4.4 Bautechnische Eigenschaften der Bodenarten

Zur bautechnischen Klassifizierung und zur Beurteilung der angetroffenen Bodenarten hinsichtlich der erforderlichen Erdarbeiten sind in Tabelle 2 die Bodengruppen, die Bodenklassen sowie die Frostempfindlichkeitsklassen angegeben.

Tabelle 2 Bodengruppen, Bodenklassen und Frostempfindlichkeitsklassen

Bodenart	Bodengruppe nach DIN 18 196	Bodenklasse nach DIN 18 300	Frostempfindlichkeitsklasse nach ZTVE-StB 94 Fassung 1997
Damm			
Oberboden	[OH], [OU]	2	F 3
Sand	[SE] [SU]	3 3	F 1 F 2
Schluff	[TL/ST*]	4 [1)]	F 3
Untergrund			
Oberboden	OH, OU	2	F 3
Geschiebelehm	TL/ST*	4 [1)]	F 3
Geschiebemergel	TL/ST*	4 [1)]	F 3
Sand	SE SU untergeordnet SU*, ST*	3 4 [1)]	F1 F2 F 3
Beckenton	TA, untergeordnet TM	4 [1)]	F 3
Beckenschluff	TM, TL, untergeordnet TA	4 [1)]	F 3
Torf	HN/HZ	2	F 3

[1)] Bei Wasserzutritt und dynamischer Beanspruchung auch Bodenklasse 2

Die Abrechnung von ggf. auftretenden größeren Steinen, Blöcken, Bauschuttresten o. ä. sollte im Leistungsverzeichnis gesondert vereinbart werden. Dies gilt sinngemäß auch für die Entsorgung eventuell vorhandener Leitungen, Entwässerungsrohre etc.

5 Hydrologische Situation

5.1 Gewässer

Im Gelände entlang des Trassenverlaufs sind keine maßgeblichen Fließgewässer vorhanden. Die lokale Entwässerung erfolgt durch Gräben die in Durchlässen unter der Trasse hindurch geführt werden. Im Bereich von Großenbrode quert die Trasse das teilverlandete Großenbroder Haff mit der Großenbroder Aue. Die Durchlässe sind in Tabelle 1 aufgelistet. Die Fehmarnsundbrücke mit ihren Rampen ist nicht Gegenstand dieses Gutachtens.

5.2 Wasser im Baugrund

Grundwasser wurde nur in etwa der Hälfte der Bohrungen angetroffen. Die generelle geologische Situation mit im Wesentlichen Geschiebeböden mit teilweise Sandzwischenlagen entspricht diesem Auftreten von lokalem Stau- und Schichtenwasser. Vereinzelt wurde gespanntes Grundwasser im Geschiebemergel und den Sanden darunter festgestellt. Die Grundwasserstände unter der GOK und die Anstiegshöhen sind in der folgenden Tabelle 3 zusammengestellt. Die Bohrungen in denen kein Grundwasser festgestellt wurde sind nicht aufgeführt und die vollständigen Daten zu den grundwasserführenden Bohrungen sind in der Anlage 1.3 verzeichnet.

Tabelle 3 Grundwasserstände und gespanntes Grundwasser

Bohrung	Höhe	Station	Grundwasserstand nach Bohrende		Anstieg / Abfall	Bemerkung
	[m NN]	[km]	[m u GOK]	[m NN]	[m]	
BS00001	19,73	0+000	2,30	17,43	0,00	
BS00602	20,86	0+763	2,90	17,96	0,50	GW im Geschiebemergel gespannt
BS00902	16,50	0+918	1,90	14,60	1,60	GW im Sand unter Geschiebemergel gespannt
BS01101	14,61	1+155	1,50	13,11	0,00	
BS01402	10,97	1+454	3,30	7,67	0,00	
BS02001	7,35	2+036	1,70	5,65	0,00	
BS02201	8,10	2+305	2,60	5,50	2,50	GW im Geschiebemergel gespannt
BS02601	6,64	2+610	1,60	5,04	0,00	
BS03001	3,58	2+998	2,20	1,38	0,00	
BS03402	0,10	3+404	0,60	-0,50	0,00	
BS03402/1	0,60	3+393	0,70	-0,10	0,00	
BS03402/2	0,90	3+363	1,50	-0,60	0,00	
BS03402/3	0,80	3+443	1,50	-0,70	0,00	
BS03601	1,34	3+625	1,30	0,04	0,00	
BS03801	0,60	3+830	2,00	-1,40	0,00	
BS03901	-0,14	4+000	1,30	-1,44	0,00	
BS04001	-0,34	4+017	2,10	-2,44	-0,10	Großenbroder Aue
BS04201	-0,40	4+327	3,40	-3,80	0,80	GW im Geschiebemergel in Sandlage gespannt
BS04301	3,76	4+330	4,80	-1,04	-0,20	GW in Sandlagen im Geschiebemergel
BS05201	5,75	5+218	1,60	4,15	0,00	
BS05501	5,59	5+519	1,20	4,39	0,00	
BS06301	2,33	6+353	1,50	0,83	1,30	GW im Sand unter Geschiebemergel gespannt
BS06702	2,51	6+750	1,10	1,41	0,00	
BS09502	4,71	9+495	2,20	2,51	0,20	GW im Sand unter Geschiebemergel gespannt
BS09702	2,90	9+817	1,60	1,30	-0,40	GW in Hanglage
BS10001	3,67	9+992	1,00	2,67	0,00	
BS10202	5,24	10+208	1,10	4,14	0,00	
BS10401	7,23	10+407	1,40	5,83	0,00	
BS10601	11,84	10+599	3,20	8,64	0,00	
BS10602	10,67	10+598	2,30	8,37	0,00	
BS10801	15,62	10+848	3,10	12,52	-0,50	GW in Hanglage
BS11001	16,86	10+981	3,80	13,06	-0,40	GW in Hanglage
BS11201	11,07	11+175	3,20	7,87	-0,50	GW in Hanglage
BS11602	11,92	11+646	4,70	7,22	0,00	
BS12602	8,47	12+640	4,10	4,37	0,00	
BS12801	8,89	12+834	1,40	7,49	0,20	GW im Geschiebemergel gespannt
BS13301	11,30	13+397	3,40	7,90	1,20	GW im Geschiebemergel in Sandlage gespannt
BS15201	9,94	15+276	1,30	8,64	0,00	
BS15401	10,04	15+486	2,40	7,64	-1,10	GW in Sandlagen im Geschiebemergel
BS15801	9,74	15+863	1,50	8,24	0,00	
BS16001	9,61	16+060	2,40	7,21	-0,80	GW in Sandlagen im Geschiebemergel
BS16201	8,96	16+287	3,30	5,66	0,00	
BS16401	7,85	16+482	1,60	6,25	0,00	
BS16702	7,30	16+711	2,70	4,60	0,00	
BS17101	7,60	17+113	2,90	4,70	0,00	
BS17301	7,40	17+336	1,90	5,50	1,30	GW im Geschiebemergel in Sandlage gespannt
BS17501	10,54	17+560	1,70	8,84	0,00	
BS17901	6,06	17+960	3,20	2,86	-1,90	GW in Sandlage über Geschiebemergel
BS18201	4,29	18+221	1,50	2,79	-0,20	GW in Sandlagen im Geschiebemergel
BS18401	5,55	18+410	5,00	0,55	-0,40	GW in Sandlagen im Geschiebemergel
BS19202	0,94	19+257	2,10	-1,16	0,00	
BS19404	1,16	19+373	1,50	-0,34	0,40	GW im Geschiebemergel in Sandlage gespannt
BS19501	1,78	19+535	1,80	-0,02	0,00	
BS19502	2,80	19+514	2,10	0,70	0,00	
BS19601	2,50	19+574	1,40	1,10	0,00	

Ein zusammenhängender Grundwasserhorizont ist damit entlang der Trasse nicht gegeben.

In und nach niederschlagsreichen Jahreszeiten kann es zu einem Anstieg der angegebenen Grundwasserstände kommen, der vorerst mit bis zu rd. 1 m abgeschätzt werden kann. Weiterhin ist auf den bindigen Böden mit Stauwasser zu rechnen, das bis in Höhe der GOK anstehen kann.

Zur längerfristigen Beobachtung der Grundwasserstände und deren Schwankungsbereichen wird empfohlen im Zuge der 2. Phase der Begutachtung an ausgewählten Standorten Grundwasserbeobachtungspegel einzurichten.

6 Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche

Aus den Kleinbohrungen wurden von der ausführenden Bohrfirma gestörte Bodenproben (GP) entnommen und der GTU übergeben. Die Bodenproben wurden im bodenmechanischen Labor der GTU visuell begutachtet. An ausgewählten Proben wurden Laborversuche zur Bestimmung der Korngrößenverteilung, des Wassergehalts, der Zustandsgrenzen, sowie des Glühverlustes durchgeführt. Einen Überblick über die durchgeführten Laborversuche ist in der Anlage 3.1 zusammengestellt.

Anhand der Bestimmungen des Wassergehalts, Anlage 3.1, und der Zustandsgrenzen, Anlage 3.3, wurden die Konsistenzen der bindigen Böden überprüft und ggf. korrigiert. Die ermittelten Wassergehalte sind typisch für die erbohrten Böden und bestätigen die im bodenmechanischen Labor der GTU angesprochenen Konsistenzen.

An ausgewählten Proben des Oberbodens wurde der humose Anteil mit dem Glühverlust bestimmt, Anlage 3.1. Anhand der Ergebnisse der Glühverlustbestimmungen ist der Oberboden überwiegend als schwach humoser bis humoser Mineralboden zu bezeichnen.

Die Ergebnisse der Bestimmungen der Korngrößenverteilungen sind in der Anlage 3.2 dargestellt. Anhand der Korngrößenverteilungen handelt es sich bei den im überwiegenden Trassenbereich anstehenden Geschiebeböden um schluffige bis stark schluffige, schwach tonige bis tonige und schwach kiesige Sande. In den Bohrprofilen wird jedoch das bodenmechanische Verhalten der Geschiebeböden berücksichtigt. Sie werden daher in bodenmechanischer Hinsicht als bindiger Boden, Hauptbodenart Schluff, mit stark sandigen sowie schwach tonigen bis tonigen und schwach kiesigen Beimengungen angesprochen und dargestellt.

Die Schichtenverzeichnisse wurden von der ausführenden Bohrfirma vor Ort erstellt und sind anhand der Laboransprache sowie der Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche nicht überarbeitet worden. Bei der Erstellung der Bohrprofile wurden die Ergebnisse der Laboransprache sowie der Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche jedoch berücksichtigt.

7 Ergebnisse der chemischen Laboruntersuchungen

Im Zuge von Begehungen, bei den Felduntersuchungen und der bei organoleptischen Ansprache der Bodenproben im Labor der GTU wurden keine Verdachtsmomente für chemische Belastungen festgestellt. Zur Bestätigung der organoleptischen Ansprachen wurde an ausgewählten Proben aus oberflächennahen Auffüllungen und Dammschüttungen Schadstoffanalysen vorgenommen und nach Länderarbeitsgemeinschaft Abfall - LAGA M 20 und Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung - BBodSchV, Unterlagen 2.5 und 2.6 bewertet.

7.1 Probenmaterial

Das Probenmaterial aus den Kleinbohrungen wurde im bodenmechanischen Labor der GTU nach organoleptischer Ansprache für chemische Analysen zu repräsentativen Mischproben (MP) zusammengeführt und in den Chemischen Laboratorien Dr. Döring, Bremen, analysiert. Die Zusammenführung der entnommenen Proben zu den Mischproben MP sowie drei Einzelproben für die Laboruntersuchungen sind in der folgenden Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4 Chemisch analysierte Proben

Laborprobe	Bohrung	Probe	Entnahme-bereich [m unter GOK]	Untersuchungs-umfang
MP 1	BS 00301	GP 1	0,5 - 1,0	Feststoff: MKW, PAK, BTEX, Schwermetalle + Arsen Eluat: pH-Wert, Leitfähigkeit, SO_4^{2-}, Cl^-
	BS 00601	GP 1	0,3 - 1,0	
	BS 00901	GP 1	0,0 - 1,0	
MP 2	BS 06501	GP 1	0,4 - 1,0	
	BS 06701	GP 1	0,3 - 0,9	
MP 3	BS 08601	GP 1	0,4 - 1,0	
	BS 09001	GP 1	0,4 - 1,0	
	BS 09501	GP 1	0,4 - 1,0	
	BS 09701	GP 1	0,5 - 1,0	
MP 4	BS 10201	GP 1	0,4 - 1,0	
	BS 10601	GP 1	0,2 - 0,5	
MP 5	BS 10001	GP 1	0,3 - 0,8	
	BS 10202	GP 1	0,4 - 0,9	
	BS 10401	GP 1	0,5 - 1,0	
MP 6	BS 11201	GP 1	0,5 - 1,0	
	BS 11601	GP 1	0,4 - 1,0	
	BS 11801	GP 1	0,5 - 1,0	
	BS 12101	GP 1	0,0 - 0,6	
MP 7	BS 19001	GP 1	0,2 - 0,8	
	BS 19001	GP 2	0,8 - 1,2	
P 1	BS 01401	GP 1	0,0 - 1,0	
P 2	BS 01801	GP 1	0,4 - 1,0	
P 3	BS 03401	GP 1	0,3 - 1,0	

7.2 Untersuchungsparameter und Bewertungskriterien

Als Grundlage für die durchzuführenden Analysen kam nach den organoleptischen Beurteilungen ein angepasster Untersuchungsumfang nach LAGA M 20 zur Anwendung.

Die Analytik erfolgte am Feststoff auf die folgenden Parameter:

- Schwermetalle: Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cd), Kupfer (Cu), Nickel (Ni), Quecksilber (Hg), Zink (Zn)
- Arsen (As)
- Kohlenwasserstoffe (KW)
- BTEX, Σ (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylole und Trimethylbenzole)
- PAK, Σ nach EPA (Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe)

Am Eluat wurden folgende Parameter analysiert:

- pH-Wert
- elektrische Leitfähigkeit
- Chlorid
- Sulfat

LAGA M 20

Die zur Bewertung der Schadstoffbelastungen im Boden unter den Gesichtspunkten einer Verwertung bzw. Entsorgung anzuwendenden Zuordnungswerte der LAGA M 20 Richtlinie sind im Folgenden dargestellt.

Die Zuordnungswerte gelten für die Verwertung des auszubauenden Bodenmaterials und als Obergrenzen werden Konzentrationsniveaus bzw. Zuordnungswerte (Z) genannt:

bis Z 0:	Uneingeschränkte Verwertung, Verwertung in bodenähnlichen Anwendungen
bis Z 0*	Verfüllungen von Abgrabungen unterhalb der durchwurzelten Zone
bis Z 1:	Eingeschränkte Verwertung in technischen Bauwerken
bis Z 1.2 (nur Eluat):	Eingeschränkter Einbau in technischen Bauwerken in hydrogeologisch günstigen Gebieten
bis Z 2:	Eingeschränkter Einbau mit definierten technischen Maßnahmen
Z 2 überschritten:	Das Material gilt als besonders überwachungsbedürftiger Abfall, für den besondere Sicherungsmaßnahmen erforderlich werden. Abfallbehandlung bzw. Ablagerung auf Deponien

BBodSchV

Ein weiteres Bewertungskriterium für Schadstoffbelastungen im Boden stellt die Bundesbodenschutzverordnung, BBodSchV, dar. Hiernach werden die Analysenergebnisse im Hinblick auf den Verbleib im Baugebiet in Bezug auf den Wirkungspfad und die vorgesehene Nutzung bewertet und bei Überschreitung von vorgegebenen Werten Empfehlungen zu weiteren Prüfungen bzw. Maßnahmen gegeben.

In dieser Untersuchung werden zur Bewertung der Ergebnisse der chemischen Analysen die Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Mensch und die sensibelste Nutzung Kinderspielflächen und Wohngebiet herangezogen, die in der nachfolgenden Tabelle 5 zusammengestellt sind.

Tabelle 5 Prüfwerte nach Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV)

Wirkungspfad Boden-Mensch	**Kinderspielflächen Prüfwert [mg/kg TS]**	**Wohngebiet Prüfwert [mg/kg TS]**
Arsen	25	50
Blei	200	400
Cadmium	10	20
Chrom	200	400
Nickel	70	140
Quecksilber	10	20
Benzo(a)pyren	2	4

7.3 Analysenergebnisse

Die chemischen Untersuchungen am Feststoff mit den Zuordnungswerten gemäß LAGA M 20 sind in Tabelle 6 aufgelistet. Der Prüfbericht des Chemischen Labors ist im Anhang B beigefügt.

Tabelle 6 Chemische Untersuchungsergebnisse (Feststoff und Eluat)

Feststoff	Zuordnung nach LAGA M 20				Probe				
					17377	17378	17379	17380	17381
	Z 0 Sand	Z 0 *	Z 1	**Z 2**	**MP 1**	**MP 2**	**MP 3**	**MP 4**	**MP 5**
	[mg/kg TS]				[mg/kg TS]				
KW (GC)	100	200	*300*	**1.000**	16	34	< 5	27	< 5
BTEX	1	1	*1*	**1**	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Arsen	10	15	*45*	**150**	2,7	1,7	2,3	2,4	2,5
Blei	40	140	*210*	**700**	8,8	5,7	3,4	12	5,8
Cadmium	0,4	1	*3*	**10**	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Chrom	30	120	*180*	**600**	3,4	3,3	1,6	4,8	3,5
Kupfer	20	80	*120*	**400**	6,3	3,3	4,2	6,6	4,6
Nickel	15	100	*150*	**500**	4,8	3,3	3,1	4,5	5,7
Quecksilber	0,1	1	*1,5*	**5**	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Zink	60	300	*450*	**1.500**	20	15	13	24	18
Benzo(a)pyren	0,3	0,6	*0,9*	**3**	0,002	< 0,001	< 0,001	0,015	< 0,001
PAK (EPA)	3	3	*3(9)*	**30**	0,030	0,012	0,001	0,168	0,004
Einstufung in die Zuordnungsklassen					**Z0**	**Z0**	**Z0**	**Z0**	**Z0**

Feststoff	Zuordnung nach LAGA M 20				Probe				
					17382	17383	17384	17385	17386
	Z 0 Sand	Z 0 *	Z 1	**Z 2**	**MP 6**	**MP 7**	**P 1**	**P 2**	**P 3**
	[mg/kg TS]				[mg/kg TS]				
KW (GC)	100	200	*300*	**1.000**	6	21	30	17	22
BTEX	1	1	*1*	**1**	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Arsen	10	15	*45*	**150**	7,6	3,4	2,7	2,3	2,7
Blei	40	140	*210*	**700**	7,7	8,0	6,2	7,3	7,7
Cadmium	0,4	1	*3*	**10**	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Chrom	30	120	*180*	**600**	30	5,2	3,6	4,9	3,8
Kupfer	20	80	*120*	**400**	11	7,2	5,0	6,1	6,0
Nickel	15	100	*150*	**500**	40	7,5	4,2	5,2	5,2
Quecksilber	0,1	1	*1,5*	**5**	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Zink	60	300	*450*	**1.500**	54	22	23	20	21
Benzo(a)pyren	0,3	0,6	*0,9*	**3**	0,072	0,023	0,002	< 0,001	< 0,001
PAK (EPA)	3	3	*3(9)*	**30**	0,869	0,355	0,025	0,001	n.n.
Einstufung in die Zuordnungsklassen					**Z0***	**Z0**	**Z0**	**Z0**	**Z0**

Eluat	Zuordnung nach LAGA M 20				Probe				
	Z 0	Z 1.1	Z 1.2	**Z 2**	**MP 1**	**MP 2**	**MP 3**	**MP 4**	**MP 5**
pH-Wert	6,5 - 9,5	*6,5 - 9,5*	*6 - 12*	**5,5 - 12**	8,4	8,6	8,9	8,6	8,1
el. Leitfähigkeit [µS/cm]	250	250	*1.500*	**2.000**	69	67	68	118	56
Chlorid [mg/l]	30	30	*50*	**100**	3,7	6,3	5,7	14,0	3,9
Sulfat [mg/l]	20	20	*50*	**200**	1,2	1,1	1,1	1,5	1,3
Einstufung in die Zuordnungsklassen					**Z 0**	**Z 0**	**Z 0**	**Z 0**	**Z 0**

Eluat	Zuordnung nach LAGA M 20				Probe				
	Z 0	Z 1.1	Z 1.2	**Z 2**	**MP 6**	**MP 7**	**P 1**	**P 2**	**P 3**
pH-Wert	6,5 - 9,5	*6,5 - 9,5*	*6 - 12*	**5,5 - 12**	8,7	8,6	9,1	9,0	8,8
el. Leitfähigkeit [µS/cm]	250	250	*1.500*	**2.000**	79	50	91	80	63
Chlorid [mg/l]	30	30	*50*	**100**	5,8	2,8	11,0	9,1	6,8
Sulfat [mg/l]	20	20	*50*	**200**	3,0	2,5	1,5	0,94	1,1
Einstufung in die Zuordnungsklassen					**Z 0**	**Z 0**	**Z 0**	**Z 0**	**Z 0**

7.4 Bewertung der Untersuchungsergebnisse

Eine Bewertung der Untersuchungsergebnisse ist in Hinblick auf die angestrebte Verwertung entweder nach LAGA M 20 oder bei Verbleib im Baugebiet nach der Bundesbodenschutzverordnung vorzunehmen.

7.4.1 Bewertung der Untersuchungsergebnisse nach LAGA M 20

Alle untersuchten Proben sind – bis auf eine nachfolgend beschriebene Ausnahme - sowohl nach den Ergebnissen der Untersuchungen am Feststoff als auch am Eluat dem Zuordnungswert Z0 zuzuordnen, womit das Material uneingeschränkt verwertet werden kann.

Lediglich die Untersuchung am Feststoff bei der Mischprobe MP 6 ergab einen erhöhten Nickelgehalt von 40 mg/kg Trockensubstanz. Diese Mischprobe ist danach dem Zuordnungswert Z0* nach LAGA M 20 zuzuordnen, womit das aufgefüllte, sandige Material aus dem oberflächennahen Bereich der Kleinbohrungen BS 11201, BS 11601, BS 11801 und BS 12101 unterhalb der durchwurzelten Zone wieder eingebaut werden kann.

7.4.2 Bewertung der Untersuchungsergebnisse nach Bundesbodenschutzverordnung

Nach den Bewertungskriterien nach BBodSchV liegen im gesamten Untersuchungsgebiet keine relevanten Bodenbelastungen vor. Hiernach sind für den Wirkungspfad Boden - Mensch im direkten Kontakt die Prüfwerte für die sensibelste Nutzung Kinderspielplätze deutlich unterschritten. Das beprobte Bodenmaterial kann zur uneingeschränkten Nutzung im Gelände verbleiben.

8 Bodenmechanische Kennwerte

Die Auswertung der vorliegenden Unterlage 2.1 ergab nur einen lückenhaften Überblick der bodenmechanischen Verhältnisse entlang der Trasse, da nur Erkundungsergebnisse von Bauwerken vorlagen. Weiterhin fehlen den Bezeichnungen der erkundeten Schichten zumeist die granulometrischen Spezifizierungen und es sind keine belastbaren bodenmechanischen Kennwerte und Eigenschaften, die verwertbar für den gesamten Trassenverlauf wären abzuleiten.

Für die im Rahmen der vorliegenden Baumaßnahme durchzuführenden erdstatischen Berechnungen können die in Tabelle 7 angegebenen charakteristischen Werte der bodenmechanischen Kennwerte verwendet werden, die an dem 2008, Unterlage 2.3, erbohrten Material ermittelt wurden.

Die Festlegung der Bodenkennwerte erfolgte anhand der im bodenmechanischen Labor der GTU vorgenommenen Bodenansprache, der Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche bzw. deren Bewertung. Gleichzeitig werden die Erfahrungen mit vergleichbaren Bodenarten berücksichtigt.

Tabelle 7 Bodenmechanische Kennwerte (charakteristische Werte)

Bodenart	Lagerungsdichte/ Konsistenz	Wichte		Scherparameter		Steifemodul
		γ_k [kN/m³]	γ'_k [kN/m³]	φ'_k [°]	c'_k [kN/m²]	$E_{s,k}$ [MN/m²]
Damm						
Oberboden	locker/weich	18	10	keine bautechnische Verwendung		
Sand	locker-mitteldicht	19	11	30	-	30 - 50
	mitteldicht	19	11	32,5	-	40 - 60
Schluff	steif	21	11	27,5	5	10 -20
	steif-halbfest	21	11	27,5	7,5	20 - 30
Untergrund						
Oberboden	locker/weich	18	10	keine bautechnische Verwendung		
Geschiebelehm	weich-steif	21	11	25	5	15
	steif	21	11	27,5	5	20
	steif-halbfest	21	11	27,5	7,5	20 - 30
	halbfest	21	11	27,5	10	30
Geschiebemergel	weich-steif	21	11	27,5	3	20 - 30
	steif	21	11	30	5	30 - 40
	steif-halbfest	21	11	30	7,5	40 - 50
	halbfest	21	11	30	10	50 - 60
Sand	locker-mitteldicht	19	11	30	-	30 - 50
	mitteldicht	19	11	32,5	-	40 - 60
Beckenton	weich-steif	19	9	20	5	7,5
	steif	20	10	22,5	15	10
	steif-halbfest	20	10	25	15	10 - 15
	halbfest	20	10	25	20	15
Beckenschluff	weich-steif	19	9	27,5	3	5
	steif	20	10	27,5	10	7,5
	steif-halbfest	20	10	27,5	15	10
Torf	-	12	2	17,5	5	0,5 - 1
Mudde	weich	14	4	15	10	0,5 - 1

Die Lagerungsdichte wurde anhand der Beobachtungen des Bohrfortschritt abgeschätzt

Die Steifemoduln sind in Abhängigkeit vom jeweiligen Belastungsbereich anzusetzen. Anhand von zusätzlichen Erkenntnissen können sich Änderungen in den anzusetzenden Kennwerten ergeben.

9 Folgerungen für den Ausbau der Strecke

9.1 Frostempfindlichkeit

Die Frostempfindlichkeit des Untergrundes ist bei der Ermittlung der erforderlichen Dicke des frostsicheren Straßenaufbaus maßgebend. Beim Antreffen von Böden der Frostempfindlichkeitsklassen F 2 oder F 3 sind Frostschutzmaßnahmen erforderlich.

Auf der Grundlage der durchgeführten Laborversuche sowie der Bodenansprachen im Labor wurden die angetroffenen Böden hinsichtlich Frostempfindlichkeit klassifiziert und die Einzelergebnisse der oberflächennah unterhalb des Oberbodens anstehenden Böden in der Anlage 2 dargestellt.

Demnach stehen im überwiegenden Trassenbereich sehr frostempfindliche Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F 3 nach ZTVE-StB 94, Fassung 1997, an. Lediglich im Bereich des Beginns der Rampen zur Fehmarnsundbrücke ist der Damm bereichsweise aus nicht frostempfindlichen Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F 1 aufgebaut, siehe Anlage 2.

Es sind dementsprechend im überwiegenden Trassenbereich Frostschutzmaßnahmen erforderlich.

Sofern die geplante Trasse in Dammlage h > 1 m verläuft, ist die Frostsicherheit durch das Dammschüttmaterial zu gewährleisten. Die geplanten Dämme sind deshalb in der oberen Zone aus frostsicherem Material herzustellen.

Verläuft die geplante Trasse in Dammlage mit geringeren Höhen und annähernd geländegleich sowie in Einschnitts- oder Hanglage ist eine Frostschutzschicht einzubauen.

9.2 Eignung des Untergrundes zur Versickerung von Niederschlagswasser

Die Versickerungseignung des Untergrundes für Niederschlagswasser wird insbesondere vom Wasserdurchlässigkeitsbeiwert k_f bestimmt.

Die nachfolgende Beurteilung der Versickerungseignung erfolgt in Anlehnung an die RAS-Ew und an das Arbeitsblatt ATV A 138. Böden mit Wasserdurchlässigkeiten von $k_f \geq 10^{-4}$ m/s sind für eine Versickerung im Allgemeinen geeignet, während nach RAS-Ew bei Böden mit Wasserdurchlässigkeiten $k_f \leq 10^{-5}$ m/s die Einrichtung von Versickerungsanlagen in der Regel nicht sinnvoll ist. Nach unseren Erfahrungen sind Versickerungsanlagen jedoch auch bei Wasserdurchlässigkeiten $k_f \leq 10^{-6}$ m/s bereits erfolgreich ausgeführt worden.

Die Versickerungseignung der oberflächennah unterhalb des Oberbodens anstehenden Böden ist in der Anlage 2 angegeben.

Demnach sind die erbohrten Böden für eine Versickerung von Niederschlagswasser im überwiegenden Trassenbereich nicht geeignet. Lediglich im Bereich des Beginns der Rampen der Fehmarnsundbrücke ist der Damm bereichsweise aus Böden aufgebaut, die eine Versickerung von Niederschlagswasser zulassen, siehe Anlage 2. Der Untergrund in diesen Bereichen ist jedoch für eine Versickerung von Niederschlagswasser nicht geeignet.

9.3 Tragfähigkeit und erforderliche Maßnahmen

Die erforderlichen Maßnahmen zur Herstellung der erforderlichen Tragfähigkeit auf dem Erdplanum sind in der Anlage 2 angegeben.

Nach den vorliegenden Aufschlussergebnissen stehen in Höhe des Erdplanums bzw. der Dammaufstandsfläche sowie der Rampen der Anschlussstellen überwiegend bindige Geschiebeböden in mindestens steifer Konsistenz an. Auf den mindestens steifen Geschiebeböden ist die erforderliche Tragfähigkeit von $E_{v2} \geq 45$ MN/m^2 nach Abschieben des Oberbodens erfahrungsgemäß durch eine Nachverdichtung des Erdplanums zu erreichen. In Einzelfällen kann eine Bodenverbesserung mit hydraulischen Bindemitteln erforderlich sein.

Die Tragfähigkeit der Geschiebeböden kann sich allerdings bei Wasserzutritt oder unter dem Einfluss dynamischer Lasten verschlechtern. Entsprechend sind hier witterungsabhängig bodenverbessernde Maßnahmen, z. B. Bodenverbesserung mit hydraulischen Bindemitteln, einzuplanen, um den auf dem Planum den geforderten Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 45$ MN/m^2 zu erreichen.

In den Abschnitten in denen oberflächennah Beckenablagerungen anstehen kann die erforderliche Tragfähigkeit erfahrungsgemäß nicht erreicht werden. Hier wird zur Erhöhung der Tragfähigkeit eine Bodenverbesserung mit hydraulischen Bindemitteln (z.B. Weißfeinkalk oder Zement) als zweckmäßig und auch wirtschaftlich empfohlen.

Bei einer Bodenverbesserung mit Bindemitteln sind die Dicke der zu verbessernden Schicht, die Bindemittelmenge und die sonstigen verfahrenstechnischen Randbedingungen, insbesondere zur Art und Weise der Verdichtung, vorab anhand von Probeverbesserungen den örtlichen Bedingungen anzupassen und zu optimieren.

Die Bodenverbesserungsmaßnahmen sollten nicht bei Frost und starken Niederschlägen ausgeführt werden.

Auf die starke Wasserempfindlichkeit der anstehenden bindigen Böden ist zu achten. Sofern aufgeweichte oder anstehende weiche Böden aufgrund zu hoher Wassergehalte nicht durch Zugabe von Kalk verbessert werden können, sind diese Böden zu trocknen (Lufttrocknung bei gleichzeitigem Belüften durch Fräsen) oder gegen zu verdichtendes Kies/Sand-Gemisch auszutauschen.

In den Trassenabschnitten mit Torf und Mudde kann eine ausreichende Tragfähigkeit durch einen Bodenaustausch erreicht werden. Je nach Tiefenlage der Weichschichten sind Sicherungsmaßnahmen (z.B. Spundwand) erforderlich.

Bei den Bodenverbesserungs- und den Bodenaustauschmaßnahmen sind die Grundwasserstände zu beachten.

Generell sollte bei Bodenaustauschmaßnahmen in den Trassenabschnitten mit Torf und Mudde von einer kombinierten Bauweise ausgegangen werden. Dabei sollte der Bodenaustausch in unterem Tiefenbereich bis max. rd. 1,5 m unter Erdplanum vorzugsweise unter Wasser in vor-Kopf-Bauweise erfolgen. Aus Gründen der Setzungsminimierung und der erforderlichen Verdichtungsarbeiten ist oberflächennah bis 1,5 m unter Planum eine Wasserhaltung z.B. mit Vakuumfilter vorzusehen. In Abschnitten mit Bodenverbesserungsmaßnahmen und in den übrigen Abschnitten kann von einer offenen Wasserhaltung ausgegangen werden.

9.4 Beurteilung der Materialeignung der Bodenarten

Grundsätzlich kommen als Dammbaustoff alle nach ZTVE-StB 94 geeigneten Bodenarten oder Recycling-Baustoffe in Betracht, wobei für den oberen Teil der Dammschüttung die Frostsicherheit zu gewährleisten ist. Für das Dammschüttmaterial sind die Verdichtungsanforderungen gemäß ZTVE-StB 94, Abschn. 3.3.2, einzuhalten. Die geforderten Verdichtungsgrade ergeben sich aus der Art des Materials sowie der Tiefenlage unter Planum.

Als Oberbaumaterial können die erbohrten Bodenarten nicht verwendet werden. Für den Einbau in eine Frostschutzschicht sind nur die schluffarmen Sande der Bodengruppen SE und [SE] geeignet.

Als Filtermaterial ist der überwiegende Teil der erbohrten Bodenarten ebenfalls nicht geeignet. Lediglich die schluffarmen Sande der Bodengruppen SE und [SE] sind als Filtermaterial bedingt geeignet.

Für die Bauwerkshinterfüllung dürfen nur grobkörnige Böden verwendet werden. Von den hier angetroffenen Bodenarten kommen nur die schluffarmen und schwach schluffigen Sande der Bodengruppen SE, [SE], SU und [SU] hierfür in Frage.

Zur Baugrundverbesserung können die angetroffenen Sande prinzipiell verwendet werden. Die Geschiebeböden sind nach entsprechender Behandlung, z. B. Bodenverbesserung mit hydraulischen Bindemitteln, ebenfalls als Material für Baugrundverbesserungen geeignet.

Die Beurteilung der Materialeignung der Bodenarten als Dammbaustoff, Oberbau- und Frostschutzmaterial, Filtermaterial, Material zur Bauwerkshinterfüllung und Material zur Baugrundverbesserung ist in der Tabelle 8 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 8 Beurteilung der Materialeignung

Bodenart	Beurteilung der Materialeignung					
	Damm-baustoff	Oberbau-material	Frostschutz-material	Filter-material	Bauwerks-hinterfüllung	Baugrund-verbesserung
Damm						
Oberboden	-	-	-	-	-	-
Sand, [SE]	+	-	+	0	+	+
Sand, [SU]	+	-	-	-	+	+
Schluff	+	-	-	-	-	-
Untergrund						
Oberboden	-	-	-	-	-	-
Geschiebelehm	+	-	-	-	-	+
Geschiebemergel	+	-	-	-	-	+
Sand, SE	+	-	+	0	+	+
Sand, SU	+	-	-	-	+	+
Sand, SU*, ST*	+	-	-	-	-	+
Beckenton	0	-	-	-	-	-
Beckenschluff	0	-	-	-	-	-
Torf	-	-	-	-	-	-
Mudde	-	-	-	-	-	-

- = nicht geeignet 0 = bedingt geeignet + = geeignet

10 Hinweise zum Dammbau

Die Dammbaumaßnahmen werden voraussichtlich als Dammverbreiterung durchgeführt. Dabei ist der verbleibende Dammkörper treppenförmig zu profilieren, um eine ausreichende Verzahnung des alten Dammkörpers mit dem neuen Bereich zu gewährleisten. Es ist darauf zu achten, dass im unteren Meter der Dammverbreiterung nur nichtbindige Böden einzubauen sind, um eine Entwässerung des Dammkörpers zu ermöglichen.

Vor Herstellung der Dämme ist der anstehende Oberboden abzutragen. Dabei sind weiche oder durch den Baubetrieb aufgeweichte Schichten auszutauschen bzw. zu verbessern.

Zur Vermeidung von Erosionsschäden sind die Böschungsflächen nach der Fertigstellung unverzüglich zu begrünen.

11 Allgemeine Angaben zu Böschungsneigungen bei Ab- und Auftrag

Die Böschungsneigungen von den neu zu schüttenden Dämmen können bei homogenem Dammaufbau und Einhaltung der Verdichtungsanforderungen der ZTVE-StB gemäß den Richtlinien für die Anlage von Straßen – Querschnitt, Ausgabe 1996 (RAS-Q), mit der Regelneigung von 1 : n = 1 : 1,5 angelegt werden. In Einschnittsbereichen mit Einschnittstiefen von h < 3 m kann ebenfalls eine Neigung von 1 : n = 1 : 1,5 angesetzt werden.

Aufgrund der lokal und regellos in den Geschiebeböden vorkommenden Sandlagen und darin möglichem Schichtenwasser sind in den umgebenden Horizonten Vernässungen und

dadurch Aufweichungen nicht auszuschließen. Hierdurch können lokal Gleitschichten und Rutschneigungen der Böschungen auftreten. Da insbesondere in gestauchten Geschiebeböden kein geordneter Schichtenverlauf gegeben ist, sind bei größeren Einschnitten die Untergrundverhältnisse detailliert zu prüfen.

Bei tieferen Einschnitten ist generell die Erosionsgefahr zu prüfen und ggf. die Einschnittsböschung abzuflachen.

12 Allgemeine Angaben zu Bauwerksgründungen

Zur Bearbeitung des vorliegenden Gutachtens lagen keine Planungen zu den die Trasse kreuzenden Bauwerken im Streckenbereich vor.

Im überwiegenden Grundrissbereich der Bauwerke stehen Bodenarten an, die für die Aufnahme der zu erwartenden Lasten als ausreichend tragfähig eingeschätzt werden können. Nach dem Abschieben des Oberbodens und der Verdichtung der Aushubsohle mit geeignetem Gerät können die Bauwerke prinzipiell flach gegründet werden. Lediglich im Bereich des Durchlasses Großenborder Aue stehen oberflächennah organische Schichten an, die zur Aufnahme der zu erwartenden Lasten als nicht tragfähig zu bezeichnen sind. Die organischen Schichten sind gegen tragfähige Böden auszutauschen.

Nach Vorlage der Planungsunterlagen sind für die Bauwerke Gründungsgutachten nach DIN 4020 erforderlich.

13 Variantenuntersuchung im Bereich der Anschlussstelle Puttgarden

Im Bereich der Anschlussstelle Puttgarden bis Station 19+600 werden zurzeit verschiedene Varianten der Trassenführung untersucht. Die im Bereich der Varianten abgeteuften Kleinbohrungen sind in den Blättern 21 bis 23 der Anlage 2 dargestellt.

Der Baugrundaufbau im Bereich der Trassenvarianten ist homogen. Nach den Ergebnissen der Baugrundaufschlüsse im Bereich der Trassenvarianten stehen hier unterhalb des Oberbodens mindestens steife Geschiebeböden an. Nach Abschieben des Oberbodens und Nachverdichten der Aushubsohle kann bei jeder Trassenvariante der frostsichere Straßenaufbau aufgebracht werden.

14 Hinweise zu den Erdarbeiten

Für die Erdarbeiten sind generell die Bestimmungen der ZTVE-StB 94, Fassung 1997, zu beachten. Auf einige Punkte wird nachfolgend besonders hingewiesen.

Die Eigenschaften des Baugrunds dürfen durch die Arbeitsvorgänge und die eingesetzten Geräte nicht nachteilig verändert werden. Durch den Baubetrieb aufgelockerte oder aufgeweichte Schichten sind zu verbessern oder auszutauschen. Gefrorene Böden sind auszutauschen.

Bei der Durchführung von Bodenaustauschmaßnahmen ist ein Lastausbreitungswinkel von 45° zu beachten. Außerdem ist im Übergangsbereich der Austauschmaßnahmen ein Auskeilen unter n = 1 : 6 auszuführen.

Der Oberboden ist vollständig aus den geländegleichen Trassenbereichen, den Dammaufstandsflächen und den Gründungsbereichen von Bauwerken zu entfernen.

Vor Beginn der Bodenverbesserungsarbeiten ist durch Probeverdichtung zu prüfen, ob mit den gewählten Arbeitsverfahren die Verdichtungsanforderungen erreicht werden.

Der Nachweis des erreichten Verdichtungsgrades und der Tragfähigkeit ist gemäß ZTVE-StB 94 über Versuche zu erbringen.

Eine ausreichende Oberflächenentwässerung ist auch für die Bauzeit sicherzustellen. Hierzu sollten Planum und Erdplanum mit einem Quergefälle von mindestens 2,5 % angelegt werden. Sofern wasserempfindliche Baustoffe eingebaut werden sollen, sind die Schüttflächen mit einem Quergefälle von mindestens 6 % anzulegen.

Der Einfluß der Witterung auf den Ablauf der Erdarbeiten ist wegen der Wasser- und Frostempfindlichkeit der anstehenden Böden zu beachten.

In Abschnitten mit landwirtschaftlich genutzten Flächen ist mit dem Auftreten von Felddrainagen zu rechnen, die beim Antreffen mit entsprechenden Sammelleitungen zu fassen sind.

15 Sonstige Hinweise und Empfehlungen

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die durchgeführten Baugrunderkundungen nur einen stichprobenartigen Aufschluss liefern. Dies gilt insbesondere auch für die Festlegung, in welchem Umfang Bodenverbesserungsmaßnahmen erforderlich sind. Bei der Durchführung der Erdarbeiten sollte daher eine Inaugenscheinnahme und Abnahme der Aushubsohlen durch den Gutachter erfolgen. Dadurch können die erforderlichen Maßnahmen optimiert werden.

Es gelten nur die zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung gültigen Normen "Weißdruck" bzw. der "Stand der Technik".

Das Gutachten gilt nur für den in Kapitel 3 beschriebenen Planungsstand. Planungsänderungen sind dem Gutachter mitzuteilen. Sondervorschläge und Planungsänderungen sind im Rahmen einer zusätzlichen Begutachtung bzw. geotechnischen Beratung zu prüfen und zu beurteilen. Die ausgeschriebenen Maßnahmen zur Bodenverbesserung sowie die entsprechenden Leistungsverzeichnisse sollten mit dem Gutachter abgestimmt werden.

16 Zusammenfassung

Die Straßenbauverwaltung des Landes Schleswig-Holstein, vertreten durch den Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr, Niederlassung Lübeck, plant den vierstreifigen Ausbau der Bundesstraße B 207 zwischen Heiligenhafen Ost und Puttgarden. Die GTU Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover, wurde im Rahmen dieses Projektes mit einer Baugrundbeurteilung in 2 Phasen beauftragt. Das vorliegende Baugrundgutachten beinhaltet die 1. Phase.

Nach den Ergebnissen der hierfür im Jahre 2008 durchgeführten Baugrundaufschlüsse ergibt sich entlang der Trasse ein im Wesentlichen einheitlicher Baugrundaufbau. Überwiegend stehen unterhalb von Oberboden bzw. Dammschüttungen Geschiebeböden an, die zum Teil von Sandlagen durchzogen sind. Lokal sind die Geschiebeböden von Sanden überlagert. Bereichsweise wurden im Trassenverlauf Beckenablagerungen sowie in Teilbereichen oberflächennah organische Böden erkundet. Der Baugrundaufbau entlang der Trasse ist auf der Grundlage der Bohrergebnisse und durchgeführten bodenmechanischen Laborversuchen in geotechnischen Längsschnitten dargestellt.

Grundwasser wurde nur in etwa der Hälfte der Bohrungen als lokales Stau- und Schichtenwasser angetroffen. Vereinzelt wurde gespanntes Grundwasser im Geschiebemergel und den Sanden darunter festgestellt. Ein zusammenhängender Grundwasserhorizont ist entlang der Trasse nicht gegeben. In und nach niederschlagsreichen Jahreszeiten kann es zu einem Anstieg der Grundwasserstände kommen. Weiterhin ist auf den bindigen Böden mit Stauwasser zu rechnen, das bis in Höhe der GOK anstehen kann. Zur längerfristigen Beobachtung der Grundwasserstände und deren Schwankungen wird die Einrichtung Grundwasserbeobachtungspegeln empfohlen.

Bei Begehungen, den Felduntersuchungen und den organoleptischen Ansprachen der Bodenproben wurden keine Verdachtsmomente für chemische Belastungen festgestellt. Zur wurden gezielt Schadstoffanalysen vorgenommen und nach LAGA M 20 und BBodSchV bewertet. Hiernach können die untersuchten Proben im Wesentlichen ggf. uneingeschränkt

verwertet werden und zur uneingeschränkten Nutzung im Gelände verbleiben. Sehr geringfügig erhöhte Bodenbelastungen werden als nicht relevant eingestuft.

Nach Auswertung der Bohrergebnisse den bodenmechanischen Laborversuchen werden Angaben zu den bautechnischen Eigenschaften und bodenmechanischen Kennwerte der einzelnen Bodenarten, zu deren Frostempfindlichkeit, Versickerungseignung, Tragfähigkeit und zu den erforderlichen Maßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit gemacht.

Die Materialeignung der erkundeten Bodenarten als Dammbaustoff, Oberbau- und Frostschutzmaterial, Filtermaterial, Material zur Bauwerkshinterfüllung und Material zur Baugrundverbesserung der Bodenarten wird beurteilt. Weiterhin werden Hinweise zum Dammbau sowie allgemeine Angaben zu Böschungsneigungen bei Ab- und Auftrag, zu Bauwerksgründungen und Hinweise zu den Erdarbeiten abgegeben.

In der folgenden Phase 2 ist das Aufschlussnetz zu verdichten und zu vertiefen und in eine abschließende Gesamtdarstellung einzubringen. Für die Erdbauwerke sind Verformung des anstehenden Bodens als Baugrund und als Baustoff zu beurteilen und der Umfang und der zeitliche Verlauf der Setzungen zu berechnen und Nachweise der Sicherheit der Erdbauwerke gegen Grundbruch und Gleiten zu führen. Planungsänderungen sowie Maßnahmen zur Bodenverbesserung sollten mit dem Gutachter abgestimmt werden.

Hannover, 24.09.2008

GTU Ingenieurgesellschaft mbH

gez. ppa. Dr. Heinrich Berner

Dipl.- Geologe
Abt.- Ltr. Geotechnik

gez. ppa. Dipl.- Ing. Andreas Tröger

Stellvertretender Projektleiter