



GRUNDBAULABOR BREMEN
INGENIEURGESELLSCHAFT
FÜR GEOTECHNIK MBH
KLEINER ORT 2
28357 BREMEN
TELEFON (0421) 20770-0
TELEFAX (0421) 27 42 55
GLB@GRUNDBAULABOR.DE

Objekt-Nr.: 15 11101
Datum: 06.11.2017
Zeichen: Kru
Datei: O/15/11101/GTB3

Bestimmung der Verwendbarkeit von Kleiböden, Bodengewinnung aus der Kleipütte, Niederbürener Landstraße, 28719 Bremen-Lesum

Geotechnischer Bericht Nr. 3

Beurteilung der Kleiqualität

Bauherr: Bremischer Deichverband
am rechten Weserufer
Am Lehester Deich 149
28357 Bremen

INHALTSVERZEICHNIS

1	Anlass der geotechnischen Untersuchungen	3
2	Verwendete Unterlagen.....	3
3	Vorhaben (Anlage 1.2).....	4
3.1	Entnahmefläche (Anlage 1.2)..... Fehler! Textmarke nicht definiert.	
4	Baugrund (Anlagen 2.1.3)	5
4.1	Geologische und bautechnische Vorgeschichte	5
4.2	Baugrundaufschlüsse (Anlage 2.1.3)	5
4.2.1	Baugrundsichtung (Anlage 2.1.3).....	6
4.2.2	Baugrundfestigkeit (Anlagen 2.2.7).....	7
5	Beurteilung der Kleiqualität (Anlagen 3.1.4 bis 3.4.8).....	7
5.1	Allgemeines	7
5.2	Ergebnisse der Labor- und Feldversuche.....	10
5.3	Beurteilung der Ergebnisse	11
6	Geotechnische Empfehlung	12
7	Anlagenverzeichnis.....	14

1 Anlass der geotechnischen Untersuchungen

Der Bremische Deichverband am rechten Weserufer plant die Entnahme von Kleiboden aus einer Kleipütte im Werderland Bremen. Das Grundbaulabor Bremen wurde vom Bauherrn beauftragt, die Eignung der Kleiböden zum Einbau nach den Anforderungen der Empfehlungen des Arbeitskreises Küstenschutzwerke (EAK) zu beurteilen und die dafür erforderlichen Laborversuche durchzuführen.

Dieser Geotechnische Bericht 3 enthält die Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse, der Feld- und Laborversuche.

2 Verwendete Unterlagen

Für die Erstellung dieses Berichtes wurden folgende Unterlagen verwendet:

- [1] NLWKN Merkblatt Qualitätssicherung für den Kleieinbau, Stand 17. März 2011.
- [2] Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 2, Erkennen und Behandeln von Ausreißern, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. Köln, Ausgabe 2003.
- [3] Empfehlungen für Küstenschutzbauwerke EAK 2002, Heft 65, Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen, 2002.
- [4] Untersuchungsbericht - Auswerten und Darstellen der Erkundungs- und Untersuchungsergebnisse. Bodengewinnung Abschnitte 9 - 13 aus der Kleipütte, Niederbürener Landstraße, 28719 Bremen-Lesum, Geotechnischer Bericht Nr. 1, Grundbaulabor Bremen, 14.01.2016.

- [5] Bestimmung der Verwendbarkeit von Kleiböden, Bodengewinnung aus der Kleipütte, Niederbürener Landstraße, 28719 Bremen-Lesum, Geotechnischer Bericht Nr. 2, Grundbaulabor Bremen, 27.04.2016.

3 **Entnahmefläche (Anlage 1.2)**

Die Entnahmefläche liegt ca. 250 m östlich der Weser und ca. 500 m südlich des Sporthafens Grohn im Werderland Bremen. Einen Lageplan im Maßstab 1 : 10.000 zeigt die Anlage 1.

Auf der Baufläche wurde im Zuge der Feldversuche im April 2017 eine Ortsbe-sichtigung durchgeführt. Dabei wurde Folgendes festgestellt:

Die untersuchten Flächen liegen nördlich der bereits im September 2015 erkundeten Flächen [4]. Bei den Entnahmeflächen handelt es sich um Wiesen, die im Randbereich von Büschen und Sträuchern bewachsen sind.

Höhen

Die m NN-Höhen der Untersuchungspunkte wurden mit einem satellitengestützten Positionssystem Topcon via GNSS-Technik (GPS/GLONASS) eingemessen (Genauigkeit ca. Horiz. = 1 bis 2 cm, Vert. = 1,5 bis 3 cm). Vor der weiteren Verwendung sind die Werte durch einen Vermesser zu bestätigen.

Gelände:

Gelände, max. (SCH 3)	+ 0,96 m NN
Gelände, min. (SCH 1)	+ 0,83 m NN

4 Baugrund (Anlagen 2.1.3)

4.1 Geologische und bautechnische Vorgeschichte

Nach der Baugrundkarte Bremen, Blatt Vegesack, ist im Bereich der Baufläche das Bodenprofil 1 kartiert.

Nach dem Profil 1 sind bindige und organische Bodenarten (bis 10,00 m und mächtiger) mit weicher bis steifer Konsistenz über nichtbindigen Bodenarten zu erwarten. Es handelt sich dabei um Schluff und/oder Ton mit wechselnden Anteilen von Sand und/oder organischen Beimengungen, organischen Ablagerungen (z. B. Auelehm, Klei, Torf, Mudde) über Sand und Kies, gemischtkörnig, mit Anteilen bis Blockgröße (Talsande; überwiegend gespanntes Grundwasser).

Die Basis der holozänen Weichschichten (Auelehm, Klei, Torf und Mudde), die im Abstand von 2,00 m in der Baugrundkarte kartiert wurden, ist auf - 2,00 m NN zu erwarten.

Die Oberfläche der Lauenburger Schichten, die in der Baugrundkarte Bremen Teil C als Linien gleicher Tiefenlage auf m NN bezogen in 5,00 m Abständen dargestellt wurde, ist auf - 25 m NN = ca. 26 m Tiefe zu erwarten. Die Lauenburger Schichten sind in den oberen 3,00 m überwiegend bindig ausgebildet.

4.2 Baugrundaufschlüsse (Anlage 2.1.3)

Zur Erkundung des Baugrundes wurden bauseitig folgende Baugrundaufschlüsse vorgegeben und durchgeführt:

Direkte Baugrundaufschlüsse:

6 Baggerschürfen, $t = 1,40$ m bis $1,80$ m.

Die Lage und das Ergebnis der Baugrundaufschlüsse, höhengerecht im Maßstab $1 : 100$ als Bodenprofil dargestellt, zeigt die Anlage 2.1.3.

Des Weiteren wurden durch das Grundbaulabor Bremen folgende Untersuchungen ausgeführt:

2 Feldflügelsondierungen nach DIN 4094-4, $t = 0,4$ m bis $0,9$ m.

Die Ergebnisse der Feldflügelsondierungen sind auf der Anlage 2.2.7 dargestellt.

4.2.1 Baugrundsichtung (Anlage 2.1.3)

Aus den Baggerschürfen ist die nachstehende Schichtenfolge erkennbar:

Unter einer $0,10$ m bis $0,40$ m mächtigen bindigen Mutterbodendeckschicht folgen humose, tonige und sandige Schluffe (Klei), die in Tiefen von $0,90$ m bis $1,30$ m = $+ 0,04$ m NN bis $- 0,35$ m NN von stark humosen und z.T. sandigen Schluffschichten unterlagert werden. Die Kleischichten weisen oberflächennah eine weiche darunter eine weiche bis breiige Konsistenz auf.

In den Baggerschürfen wurden die Schluffschichten in der Endtiefe nicht durchteuft. Darunter sind gemäß den Unterlagen [4] und [5] Torfschichten zu erwarten.

Die genaue Schichtenfolge und -mächtigkeit sowie weitere Angaben sind in den Bodenprofilen dargestellt.

4.2.2 Baugrundfestigkeit (Anlagen 2.2.7)

Zur stichprobenartigen Ermittlung der Festigkeit der oberen Kleischichten wurden im Rahmen der geotechnischen Untersuchungen 2 Feldflügelsondierungen nach DIN 4094-4 ausgeführt. Mit der Feldflügelsonde wird die Gesamtscherfestigkeit c_{fv} des undrännierten Bodens festgestellt, diese wird auch als undrännierte Kohäsion bezeichnet. Die Messung erfolgte durch Drehung eines Flügels mit den Abmessungen $h/d = 110 \text{ mm} \times 55 \text{ mm}$ in einer Tiefe von 0,4 m bis 0,9 m unter Gelände.

Die Messwerte der Flügelscherfestigkeiten - Bruchwerte - liegen zwischen $c_{fv} = 29 \text{ kN/m}^2$ und 68 kN/m^2 . Die lokalen Messwerte sind tiefenabhängig als Drehmoment-Verdrehungsdiagramm auf der Anlage 2.2.7 dargestellt.

5 Beurteilung der Kleiqualität (Anlagen 3.1.4 bis 3.4.8)

5.1 Allgemeines

Zur Beurteilung der Verwendbarkeit von Kleiboden für den Deichbau bzw. ob die vorhandenen Böden den Vorgaben für Klei entsprechen, wurden folgende Arbeiten herangezogen:

- „Beurteilung von Kleiabdeckungen ostfriesischer Seedeiche auf der Grundlage bodenphysikalischer Kennwerte“; von Günter Ragutzki, in Jahresbericht 1967, Band XIX der Forschungsstelle Norderney der Niedersächsischen Wasserverwaltung, Seite 121 bis 146.
- „Küsteningenieurwesen“; von Heie Focken Erchinger, in Taschenbuch der Wasserwirtschaft, 7. Auflage, 1993, Verlag Paul Parey, Berlin.

- „Empfehlungen für Küstenschutzwerke“; EAK 1993, herausgegeben durch den Ausschuss für Küstenschutzwerke der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V. und der Hafenbautechnischen Gesellschaft e.V., erschienen in Heft 55 aus 1993, Die Küste, Archiv für Forschung und Technik an Nord- und Ostsee.
- „Empfehlungen für Küstenschutzwerke“; EAK 2002, korrigierte Ausgabe 2007, herausgegeben durch den Ausschuss für Küstenschutzwerke der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V. und der Hafenbautechnischen Gesellschaft e.V., erschienen in Heft 65 aus 2002, Die Küste, Archiv für Forschung und Technik an Nord- und Ostsee.

Zusammenfassend sind folgende Bodeneigenschaften für Klei als Baustoff für Deiche entscheidend:

- Aus der Korngrößenverteilung sollte sich ein Tonanteil zwischen 10 % und 40 % ergeben. Der Tonanteil ist das Hauptmerkmal des Kleis und ist nachfolgend aufgeführt (s. Taschenbuch der Wasserwirtschaft):

Klei	Tonanteil [%]	Eignung (soweit übrige Kennwerte günstig)
sehr fett	> 30	schwer zu verarbeiten und zu verdichten, starke Rissbildung bei Trockenheit
fett	20 bis 30	besonders gut geeignet bei Sandanteil < 30 %
mittel	15 bis 20	geeignet
mager	10 bis 15	bedingt geeignet bei schwacher Beanspruchung oder flacherer Böschungsneigung

- Der Sandanteil sollte im Allgemeinen 40 % nicht überschreiten.

- Neben der Korngrößenverteilung sind die chemischen Eigenschaften der Tonminerale, die organische Substanz sowie die Fließ- und Ausrollgrenze in Verbindung mit dem natürlichen Wassergehalt maßgebend für die Eignung und Verarbeitbarkeit.

Die Fließgrenze w_L sollte $> 25 \%$ (45%) und die Ausrollgrenze $w_p > 15 \%$ (25%) betragen. Die Klammerwerte gelten für besonders exponierte Seedeiche.

- Die Plastizitätszahl I_P als Maß für die Empfindlichkeit des Bodens gegenüber Wassergehaltsschwankungen sollte $> 10 \%$ (20%) bei den Deichen betragen.
- Der Glühverlust V_{gl} als Maß für den Gehalt an organischer Substanz sollte 10% möglichst nicht überschreiten.
- Die Anfangsscherfestigkeit c_u sollte bei $> 20 \text{ kN/m}^2$ (30 kN/m^2) liegen.

Zusammenfassend sind die Grenzwerte T 8 (gem. EAK 2002, korrigierte Ausgabe 2007) bzw. Anhang 7 (Merkblatt Qualitätssicherung für den Kleieinbau vom 23.11.2009) hier nochmals zusammengefasst:

Bodeneigenschaft	Grenzwert	
Gehalt an organischen Bestandteilen (Glühverlust)	V_{gl}	$< 10 \%$, max. 15%
Sandanteil ($d < 0,06 \text{ mm}$)		$< 40 \%$
Tonanteil ($d < 0,002 \text{ mm}$)		> 10 (15) $\%$
Fließgrenze	w_L	> 25 (45) $\%$
Ausrollgrenze	w_p	> 15 (25) $\%$
Plastizitätszahl	I_P	> 10 (20) $\%$
Anfangsscherfestigkeit	c_u	> 20 (30) kN/m^2
Trockendichte	$0,85$ ($1,0$)	$< p_d > 1,45 \text{ t/m}^3$
Einbauwassergehalt	80 (50) $\%$	$> w > 30 \%$

Die in Klammern angegebenen Zahlenwerte gelten für besonders exponierte Seedeiche.

5.2 Ergebnisse der Labor- und Feldversuche

Von den gestörten Eimerproben und den ungestörten Proben wurden in unserem Labor folgende bodenmechanische Kennziffern ermittelt:

Klei: Schluff, stark tonig, humos bis stark humos, sandig

Bodengruppe (DIN 18196)

UM-UA/ TA/ OU

Korngrößenverteilung (DIN 18123)

Feinstes	$d \leq 0,002$	mm	=	17	-	41	%
Schluffkorn	$d = 0,002 - 0,06$	mm	=	55	-	65	%
Sandkorn	$d = 0,06 - 2,0$	mm	=	5	-	22	%
Wassergehalt (DIN 18121)		w_n	=	22,6	-	171,2	%
Glühverlust (DIN 18128)		$V_{gl.}$	=	6,8	-	24,0	%
Fließgrenze		w_L	=	69,9	-	74,2	%
Ausrollgrenze		w_P	=	26,6	-	27,5	%
Plastizitätszahl		I_p	=	43,3	-	46,7	%

Zur Beurteilung der Verwendbarkeit von Kleiboden für den Deichbau wurden die Unterlagen [U1 bis U3] verwendet.

Die ermittelten bodenmechanischen Kennwerte der charakteristischen Bodenproben werden den Anforderungswerten gegenübergestellt.

Bei den 7 untersuchten Proben liegt der Tonanteil über 15 % und der Sandanteil liegt unter 40 %.

Der Glühverlust liegt bei 5 der untersuchten Bodenproben unterhalb von 10 %, bei 2 Proben unterhalb von 15 % und bei zwei Proben über 15 %.

Nach EAK 2002 sollen die Anfangsscherfestigkeiten bei $> 20 \text{ kN/m}^2$ liegen. Beide Feldflügelsondierungen erfüllen die Bedingungen.

Die ermittelten Wassergehalte an der Fließgrenze liegen zwischen 70 % und 74 % und an der Ausrollgrenze zwischen 26 % und 28 %. Die Plastizitätszahl liegt bei allen 3 Proben über 40 %. Die Konsistenzzahl reicht von 0,27 bis 0,6 und gibt eine breiige bis teilweise weiche Konsistenz an.

Die natürlichen Wassergehalte des Kleibodens zeigen Werte zwischen 22 % und 171 %, wobei tendenziell eine Zunahme und größere Streubreite mit wachsender Tiefe und der Zunahme der organischen Anteile vorliegt.

5.3 Beurteilung der Ergebnisse

Zur Beurteilung der Verwendbarkeit von Kleiboden für den Deichbau wurden die Unterlagen [U1 bis U3] verwendet.

Der Kleiboden lässt sich anhand der im Labor ermittelten Kennwerte nach DIN 18196 in die Bodengruppen UM - UA, TA und OU einordnen.

Nach [1 + 3] wurden die Grenzwerte für den Sandanteil und den Tongehalt nicht überschritten. Hinsichtlich seiner Kornzusammensetzung ist der Klei als „gut geeignet“ zu bewerten.

Die Atterbergschen Konsistenzgrenzen liegen über dem vorgegebenen Mindestwert. Die Fließgrenze liegt im Mittel bei rd. 72 % und die Plastizitätszahl bei rd. 45 %, womit eine gute Eignung bestätigt wird.

Der Glühverlust der oberen Kleischichten liegt im Toleranzbereich. Der Glühverlust der unteren Kleischichten liegt über dem zulässigen Grenzwert für Deiche und exponierte Seedeiche.

Für eine direkte Einbaubarkeit als Deichabdeckungsmaterial ist aus geotechnischer Sicht ein mittlerer Wassergehalt von max. 45 % einzuhalten. Der Kleiboden verliert mit zunehmendem Wassergehalt die Scherfestigkeit und erreicht bei höheren Einbauwassergehalten als w_n i. M. = 45 % auch die erforderlichen Verdichtungsgrade nicht, da der Wassergehalt oberhalb des optimalen Wassergehaltes w_{opt} , bei dem die Proctordichte nach DIN 18127 erreicht wird, liegt.

Unter Berücksichtigung der bodenmechanischen Eigenschaften wird eine Abbaugrenze für die Verwendbarkeit der Kleischichten für den Deichbau festgelegt. Die Aushubsohle ist auf der Anlage 2.1.3 dargestellt. Für Kleiböden mit zu hohem Wassergehalt ist eine Zwischenlagerung zur Abtrocknung in haldenförmigen Bodenmieten vorzusehen. Eine Unterteilung in direkte Einbaubarkeit und Zwischenlagerung ist auf der Anlage 2.1.3 dargestellt.

6 Geotechnische Empfehlung

Auf Grundlage der durchgeführten Baugrunderkundungen und Laborversuche kann in Bereichen der Baggerschürfen überwiegend mit für den Deichbau geeigneten Kleiböden gerechnet werden. Die Qualität der untersuchten Proben entspricht den Empfehlungen für Küstenschutzbauwerke EAK 2002.

Der Oberboden kann zum Einbau am Deich genutzt werden, sofern der Bewuchs kurz vor der Entnahme abgemäht und abtransportiert wird und die Flächen geschlegelt werden.

Der anstehende Klei ist in seinem derzeitigen Zustand aufgrund der Wassergehalte allerdings nur teilweise als Deichbaumaterial direkt einbaufähig.

Für die Verarbeitbarkeit der Kleiböden, d. h. für den Aushub, den Transport und die Verdichtung ist ein Wassergehalt von $\leq 45 \%$ zu empfehlen. Daraus resultiert eine weiche bis steife Konsistenzform für den Einbau, um eine hohlraumarme Verdichtung zu erreichen. Bei Einbau von Material mit einer weichen bis breiigen Konsistenzform ist die Leistungsfähigkeit der für die Profilierung erforderlichen Raupenfahrzeuge bereits stark eingeschränkt. Weiterhin muss beachtet werden, dass ein zu hoher Wassergehalt beim Einbau durch den Wasserentzug an der Oberfläche durch klimatische Einflüsse zu Rissbildungen führen kann. Diese Risse werden sich auch bei guten Quelleigenschaften des eingebauten Materials nicht wieder vollständig schließen. Klaffende Trockenrisse führen dann zu einer erhöhten Durchlässigkeit, die ein stärkeres Aufweichen der Deichhaut bei Wassereinstau verursacht.

Kleiböden, die einen Wassergehalt $> 45 \%$ aufweisen, können durch Trocknung für die Weiterverarbeitung zur Deichabdeckung nutzbar gemacht werden. Eine Vermischung während der Arbeitsgänge „lösen, laden und einbauen“ von trockeneren und nasseren Kleiböden in größeren Tiefen ist nicht wünschenswert, da auf diese Weise die Kleiböden mit einem für den direkten Einbau passenden Wassergehalt zu nass werden und somit ebenfalls nicht ausreichend verdichtet werden können.

Während der Erdarbeiten in der Entnahme auftretendes Niederschlags- und Schichtenwasser ist entweder durch Gräben mit freier Vorflut oder durch den Einsatz von Tauchpumpen fortlaufend zu fassen und abzuführen. Hierdurch soll eine Vernässung und damit einhergehende weitere Festigkeitsabnahme des Kleis vermieden werden.

Weiterhin ist bei den Erdarbeiten in der Entnahme zu berücksichtigen, dass das Grundwasser im gespannten Zustand unterhalb der Kleischichten und in den Sandzwischen-schichten ansteht und bei unzureichender Überdeckung zu einem Aufbrechen der Aushubsohle führt.



Weitere Einzelheiten sowie die Ergebnisse der Feld- und Laboruntersuchungen sind im Bericht gegeben.

Dr.-Ing. von Bloh
Geschäftsführer

i.A. M. Sc. Geow. Imke Krull

Verteiler:

Bauherr: Bremischer Deichverband
am rechten Weserufer
Am Lehester Deich 149
28357 Bremen

3 x

7 Anlagenverzeichnis

I N H A L T	Anlage Nr.	
	von	bis
1. <u>Lageplan</u>	1.2	
2. <u>Felduntersuchungen</u>		
2.1 Bodenprofile aus Sondierbohrungen	2.1.3	
2.2 Elektrische Flügelsondierungen	2.2.7	
3. <u>Laboruntersuchungen</u>		
3.1 Korngrößenverteilungen	3.1.4	
3.2 Bodenmechanische Kennziffern	3.2.13	
3.4 Zustandsgrenzen	3.4.6	3.4.8