

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.: 19 12564  
Datum: 23.01.2020  
Zeichen: Kru  
Datei: O:\19\12564\GTB1.docx

## Renaturierung Elsflether Sand, 26931 Elsfleth

### Geotechnischer Bericht Nr. 1

### Geotechnische Vorerkundung

---

Auftraggeber: Niedersächsischer Landesbetrieb für  
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz  
NLWKN - Betriebsstelle Brake - Oldenburg  
Im Dreieck 12  
26127 Oldenburg  
für  
CTW Container Terminal Wilhelmshaven  
JadeWeserPort-Marketing GmbH & Co.KG  
Pazifik 1  
26388 Wilhelmshaven

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Anlass der geotechnischen Untersuchungen</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Baumaßnahme</b>	<b>4</b>
2.1	Verwendete Unterlagen	4
2.2	Untersuchungsfläche und geplante Maßnahme (Anlagen 1.1 und 1.2)	5
<b>3</b>	<b>Baugrund (Anlagen 2.1.1 bis 2.2.2)</b>	<b>6</b>
3.1	Geologische und bautechnische Vorgeschichte	6
3.2	Baugrundaufschlüsse (Anlage 2.1.1 bis 2.1.2)	7
3.2.1	Baugrundsichtung (Anlage 2.1.1 und 2.1.2)	8
3.3	Grundwasserverhältnisse (Anlage 2.1.1 bis 2.2.2)	9
3.3.1	Hauptgrundwasserstockwerk	9
3.3.2	Oberes Grundwasserstockwerk	10
3.3.3	Grundwasserstandsmessungen (Anlage 2.2.1 und 2.2.2)	10
3.4	Umwelttechnische Verhältnisse	11
3.4.1	Verunreinigungen von Boden	11
3.4.2	Hinweise zum Umgang mit potentiell sulfatsauren Böden	12
<b>4</b>	<b>Beurteilung des Baugrundes</b>	<b>15</b>
4.1	Baugrundmodell	15
4.2	Baugrundeigenschaften	15
4.3	Beurteilung des Baugrundrisikos	16
<b>5</b>	<b>Beurteilung der Kleiqualität (Anlagen 3.1.1 bis 3.4.4)</b>	<b>17</b>
5.1	Allgemeines	17
5.2	Ergebnisse der Laborversuche (Anlage 3.1.1 bis 3.4.4)	19
5.3	Beurteilung der Ergebnisse	21
<b>6</b>	<b>Kleimächtigkeiten (Anlage 4.1 und 4.2)</b>	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>26</b>
<b>8</b>	<b>Anlagenverzeichnis</b>	<b>27</b>

## **1 Anlass der geotechnischen Untersuchungen**

Der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) plant die Renaturierung des „Elsflether Sandes“ als Kompensationsmaßnahme zu der Inanspruchnahme des „Voslapper Groden Süd“ als Gewerbe- oder Industriegebiet. Das Grundbaulabor Bremen wurde vom NLWKN beauftragt, für die bevorstehende Maßnahme eine geotechnische Vorerkundung einschließlich der Baugrundaufschlüsse und der erforderlichen Laborversuche durchzuführen. Des Weiteren soll die Eignung der anstehenden Kleiböden zum Einbau nach den Anforderungen der Empfehlungen des Arbeitskreises Küstenschutzwerke (EAK) beurteilt werden.

Die Ansatzpunkte der Baugrundaufschlüsse wurden vom Objektplaner NLWKN Brake-Oldenburg vorgegeben. Die Lage der Sondierbohrungen wurde vom Grundbaulabor Bremen an die örtlichen Gegebenheiten (Gräben etc.) angepasst.

Die Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse und Laboruntersuchungen wurden am 28.10.2019 beim NLWKN vorgestellt.

Dieser Geotechnische Bericht 1 enthält die Ergebnisse der geotechnischen Vorerkundung. Dargestellt sind die Baugrundaufschlüsse, die Feld- und Laborversuche sowie eine Beurteilung des Baugrundes und eine Einschätzung der Eignung des Kleibodens für den Deichbau.

## 2 Baumaßnahme

### 2.1 Verwendete Unterlagen

Für die Erstellung dieses Berichtes wurden folgende Unterlagen verwendet:

- [1] Renaturierung des Elsflether Sandes, Unterlage zur Angebotsabfrage für ein geotechnisches Gutachten. NLWKN Betriebsstelle Brake-Oldenburg Geschäftsbereich IV – Regionaler Naturschutz für Container Terminal Wilhelmshaven - JadeWeserPort-Marketing GmbH & Co. KG, erhalten per Mail am 24.07.2019 vom NLWKN.
- [2] Umriss um die Beprobungsflächen (GIS, Polygon) und Lage der Bohrpunkte (GIS, Punkt), per Mail erhalten am 26.08.2019 vom NLWKN.
- [3] Geotechnische Untersuchungen und Qualitätssicherung für den Kleieinbau an See- und Tidestromdeichen (Entwurf), NLWKN, 31.05.2018.
- [4] Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 2, Erkennen und Behandeln von Ausreißern, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. Köln, Ausgabe 2003.
- [5] „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.
- [6] „Küsteningenieurwesen“; von Heie Focken Erchinger, in Taschenbuch der Wasserwirtschaft, 7. Auflage, 1993, Verlag Paul Parey, Berlin.
- [7] „Beurteilung von Kleiabdeckungen ostfriesischer Seedeiche auf der Grundlage bodenphysikalischer Kennwerte“; von Günter Ragutzki, in Jahresbericht 1967, Band XIX der Forschungsstelle Norderney der Niedersächsischen Wasserwirtschaftsverwaltung, Seite 121 bis 146.
- [8] Erhöhung und Verstärkung des Weserdeiches zwischen Berne-Ohrt und Huntesperrwerk, Deich Stat. 0 (=km 437.850) – 3000, 27804 Berne. Geotechnischer Bericht 1 – Beurteilung der Gründung (unsere Objekt Nr. 996959), Grundbaulabor Bremen, 22.05.2002.

## **2.2 Untersuchungsfläche und geplante Maßnahme (Anlagen 1.1 und 1.2)**

Die Untersuchungsfläche liegt auf der Weserinsel „Elsflether Sand“. Einen Übersichtslageplan im Maßstab 1 : 25.000 zeigt die Anlage 1.1. Einen detaillierteren Lageplan der Untersuchungsfläche mit den Bohransatzpunkten im Maßstab 1 : 5.000 zeigt die Anlage 1.2.

Auf der Baufläche wurde im Zuge der Baugrunderkundung im September 2019 eine Ortsbesichtigung durchgeführt. Dabei wurde Folgendes festgestellt:

Der „Elsflether Sand“ ist eine Halbinsel zwischen Weser und Hunte. Im Osten wird die Insel von der Weser begrenzt, im Westen von der Hunte, im Süden vom Weserarm „Rekumer Loch“ und im Südwesten von der „Westergate“. Ein Teil der Fläche wird landwirtschaftlich genutzt und der andere Teil der Flächen ist Grünland, das teilweise mit Strauchwerk und Gräsern bewachsen ist. Die gesamte Fläche des „Elsflether Sandes“ wird von diversen Entwässerungsgräben durchzogen. Zurzeit befinden sich noch zwei landwirtschaftliche Höfe auf der Fläche.

Die Objektplanung wird ausgeführt vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Brake- Oldenburg.

Die Maßnahme umfasst die Renaturierung der Grünlandflächen des „Elsflether Sandes“. Es sollen wasserdurchflutete Röhrichtflächen für Nistvögel geschaffen werden. Die offenen Gewässerflächen sollen durch Bodenentnahme mit Aushubtiefen bis max. 2,5 m entstehen. Der Einstau soll an die Hunte und Weser angeschlossen werden. Die Renaturierungsfläche umfasst zwei Teilbereiche, den ca. 39 ha großen hunteseitigen Teil und den ca. 59 ha großen weserseitigen Teil. Die beiden Teilflächen sind durch die Hauptdeichlinie voneinander getrennt.

Für die geotechnische Vorerkundung wurden auf der Untersuchungsfläche in einem rd. 100 m x 100 m Raster Kleinrammbohrungen ausgeführt. Die Vorerkundung dient der allgemeinen Baugrundbeurteilung und bildet die Grundlage für die Auswahl von Bereichen, die für die Herstellung der Wasserflächen geeignet erscheinen. Nach Festlegung der Ausführungsbereiche durch die Planung werden diese Bereiche

engmaschiger erkundet, um genaue Aussagen zu maximalen Abbautiefen und zur Abdichtung der Gewässersohlen treffen zu können.

Des Weiteren wird der anstehende Kleiboden orientierend auf die Eignung als Deichbaumaterial geprüft. Der bei der Maßnahme anfallende Kleiaushub soll nach Möglichkeit bei der Erhöhung des Hauptdeiches bei Elsfleth genutzt werden.

### **Höhen**

Die m NHN-Höhen der Sondierpunkte wurden mit einem satellitengestützten Positionssystem via GNSS-Technik (GPS/GLONASS) eingemessen (Genauigkeit ca. horizontal = 1 bis 2 cm, vertikal = 1,5 bis 3 cm).

Der aktuell gültige Höhenbezug Normalhöhennull (NHN) entspricht in der betrachteten Region mit geringen Abweichungen im Millimeterbereich dem früheren Normalnull (NN). In einigen Kartenwerken sind die Angaben noch auf NN bezogen. Die regionalen Abweichungen liegen im Bereich der Messtoleranzen, so dass für den Geotechnischen Bericht alle Daten mit NHN bezeichnet werden.

### **Gelände (ohne Hauptdeich):**

Gelände hunteseitig, max. (BS 16)	+ 2,93 m NHN
Gelände hunteseitig, min. (BS 35)	+ 1,35 m NHN
Gelände weseitig, max. (BS 48)	+ 4,32 m NHN
Gelände weseitig, min. (BS 61)	+ 1,23 m NHN
Grundwasserstand (BS 24: 09.09.2019)	+ 0,38 m NHN
Grundwasserstand (BS 54: 10.09.2019)	+ 0,17 m NHN
Grundwasserstand (BS 24: 10.09.2019)	+ 0,90 m NHN

## **3 Baugrund (Anlagen 2.1.1 bis 2.2.2)**

### **3.1 Geologische und bautechnische Vorgeschichte**

Nach der Geologischen Karte von Niedersachsen (Maßstab 1 : 25.000) des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) sind bindige Böden (Klei) mit

organischen Beimengungen teilweise mit eingelagerten Torf- und Sandschichten über Sanden zu erwarten.

Aus Baugrundaufschlüssen des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (Niedersachsen) wurden bis ca. 4 m bis 5 m Tiefe Kleischichten erkundet, die teilweise von mehreren Metern mächtigen Sandschichten unterlagert werden. Darunter folgen Kleischichten, in die teilweise in ca. 11 m Tiefe Torfschichten eingelagert sind. Ab einer Tiefe von ca. 10 m bis 13 m stehen pleistozäne Sande an.

Die Basis der holozänen Weichschichten (Auelehm, Klei, Torf und Mudde), die in der Geologischen Küstenkarte von Niedersachsen (Maßstab 1 : 25.000) - Relief der Holozänbasis kartiert wurden, ist zwischen – 10 m NN bis – 13 m NN zu erwarten.

### **3.2 Baugrundaufschlüsse (Anlage 2.1.1 bis 2.1.2)**

Zur Vorerkundung des Baugrundes wurden von unserem Labor im September 2019 folgende Baugrundaufschlüsse durchgeführt:

Direkte Baugrundaufschlüsse:

89 Kleinrammbohrungen nach DIN EN ISO 22475-1, Durchmesser 45 mm bis 80 mm, t = 4 m bis 14 m.

Es ist zu beachten, dass bei dem Bohrverfahren, Kleinrammbohrungen nach DIN EN ISO 22475-1 mit einem Durchmesser von 45 mm bis 80 mm, Steine > 63 mm nicht erkannt und gefördert werden können.

Für eine detailliertere Darstellung der Baugrundverhältnisse auf dem „Elsflether Sand“ wurden Sondierungen aus dem Jahr 2000 aus unserem Objekt Nr. 996959 [U 8] mit dargestellt.

Die Lage und das Ergebnis der Baugrundaufschlüsse, höhengerecht im Maßstab 1 : 100 als Bodenprofil dargestellt, zeigen die Anlagen 2.1.1 bis 2.1.2.

Die Lage der Sondierpunkte ist auf der Anlage 1.2 dargestellt.

### **3.2.1 Baugrundsichtung (Anlage 2.1.1 und 2.1.2)**

In den direkten Baugrundaufschlüssen ist die nachstehende Schichtenfolge erkennbar:

Unter einer 0,20 m bis 0,60 m mächtigen durchwurzeltten Bodenschicht folgen organische, tonige und sandige Schluffe (Klei). Die Schluffschichten weisen überwiegend weiche bis steife Konsistenzen auf. Bereichsweise wurden breiige und im oberflächennahen Bereich aufgrund von Austrocknung auch halbfeste Konsistenzen erkundet. Die Tiefenlage der unterschiedlichen Konsistenzbereiche variieren. In den oberen 0,30 m bis 1,20 m wurden überwiegend steife bis halbfeste Konsistenzen angetroffen, darunter zeigen sich steife und weich bis steife Konsistenzen. Breiige bis weiche Konsistenzen sind im Mittel ab 1,50 m bis zur Endteufe der Kleischichten anzutreffen. In einer Tiefe von 1,90 m bis 6,60 m = - 4,36 m NHN bis + 1,23 m NHN stehen holozäne Sande mit teilweise schluffigen Beimengungen an. Darunter folgen überwiegend Schluffschichten, die in einer Tiefe von ca. 9 m bis rd. 11 m von pleistozänen Sanden unterlagert werden.

In der Sondierbohrung BS 16 wurde unterhalb des Mutterbodens eine 1,55 m mächtige Auffüllung aus Sanden mit z.T. schluffigen Beimengungen angetroffen.

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



### 3.3 Grundwasserverhältnisse (Anlage 2.1.1 bis 2.2.2)

#### 3.3.1 Hauptgrundwasserstockwerk

Nach den durchgeführten Baugrundaufschlüssen sind die Sande der Grundwasserleiter des Hauptgrundwasserstockwerkes. Den Grundwassernichtleiter bilden die in größerer Tiefe anstehenden Lauenburger Schichten.

Der Hauptgrundwasserleiter ist nach vorliegenden Erkenntnissen zweigeteilt. Die eingelagerten Sande unterhalb der oberen Kleischicht stellen den oberen Hauptgrundwasserleiter dar und sind in Bereich ohne untere Kleischichten mit dem unteren Hauptgrundwasserleiter hydraulisch verbunden.

Aufgrund der Mächtigkeit der schwach bis sehr schwach durchlässigen Kleischichten ist ein gespannter Grundwasserspiegel vorhanden.

In die Kleinrammbohrung BS 24 wurde ein Peilfilter eingebaut, dessen Filterstrecke in den Sanden des unteren Hauptgrundwasserleiters liegt. Während der Sondierarbeiten wurde folgender Grundwasserspiegel in Ruhe eingemessen:

BS-Nr.	Datum	Grundwasserspiegel in Ruhe	
		[m]	[m NHN]
BS 24	09.09.2019	1,29	+ 0,38

In die Kleinrammbohrungen BS 54 und BS 82 wurde je ein Peilfilter eingebaut, dessen Filterstrecke in den holozänen Sanden (oberer Hauptgrundwasserleiter) liegt. Während der Sondierarbeiten wurde folgender Grundwasserspiegel in Ruhe eingemessen:

BS-Nr.	Datum	Grundwasserspiegel in Ruhe	
		[m]	[m NHN]
BS 54	10.09.2019	1,67	+ 0,17
BS 82	10.09.2019	1,14	+ 0,90

Die Grundwasserstände werden auf der gesamten Fläche des „Elsflether Sandes“ durch die tidebedingt wechselnde Höhe der Weser und der Hunte und durch Maßnahmen der künstlichen Entwässerung (Schöpfwerke, Siele) stark beeinflusst, so dass auch höhere Grundwasserstände als die o.g. Werte auftreten können.

### **3.3.2 Oberes Grundwasserstockwerk**

Die eingelagerten Kleischichten wirken als Grundwasserstauer für ein oberes Grundwasserstockwerk, für den die Sande (obere Sande bei BS 45/ BS 48) den Grundwasserleiter bilden.

Im Bereich der bindigen und organischen Deckschichten ist insbesondere bei sandigen Zwischenschichten oder darüber lagernden Auffüllungen mit stauendem Sickerwasser in Abhängigkeit von Niederschlägen und der Entwässerungsmöglichkeit zu rechnen. Bei langanhaltenden Niederschlägen ist im ungünstigsten Fall davon auszugehen, dass sich Sickerwasser kurzfristig bis zur Geländeoberkante anstaut.

### **3.3.3 Grundwasserstandsmessungen (Anlage 2.2.1 und 2.2.2)**

Zur weiteren Betrachtung der Grundwasserstände und deren Schwankungen wurden die Peilfilter der Kleinrammbohrungen BS 24 (GWM 24), BS 54 (GWM 54) und BS 82 (GWM 82) am 09.09 bzw. 10.09.2019 mit Datenloggern ausgerüstet und die Grundwasserstände wurden in einem Messtakt von 5 Minuten erfasst und gespeichert.

Die Grundwasserganglinien der drei Messstellen sind auf der Anlage 2.2.1 dargestellt.

Vom Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Bremen wurde der nächstgelegene Weserpegel „Elsfleth“ im Messzeitraum bei dem Onlinedienst pegelonline abgefragt und zusammen mit den Grundwasserganglinien auf der Anlage 2.2.2 dargestellt.

In der nachfolgenden Tabelle sind die minimalen und maximalen Wasserstände sowie die größte gemessene Amplitude der Schwankungen aufgelistet:

Messstelle	Zeitraum		Wasserstand [m NHN]		Amplitude [m]
	von	bis	min	max	
GWM 24	09.09.2019	14.10.2019	- 0,44	+ 0,87	1,31
GWM 54	10.09.2019	14.10.2019	- 0,09	+ 1,26	1,35
GWM 82	10.09.2019	14.10.2019	- 0,32	+ 1,88	2,20
Weserpegel Elsfleth	09.09.2019	16.10.2019	- 2,08	+ 3,50	5,58

Die durchgeführten Messungen in den Peilfiltern zeigen im Messzeitraum minimale Wasserstände zwischen – 0,09 m NHN (GWM 54) und – 0,44 m NHN (GWM 24) und maximale Wasserstände zwischen + 0,87 m NHN (GWM 24) und + 1,88 m NHN (GWM 82). Die maximale Amplitude der Grundwasserschwankungen reicht von 1,31 m (GWM 24) bis 2,20 m (GWM 82).

Der nächstgelegene Weserpegel „Elsfleth“ zeigt für den Messzeitraum einen minimalen Wasserstand von – 2,08 m NHN und einen maximalen Wasserstand von + 3,50 m NHN. Die Amplitude innerhalb dieser Zeit liegt bei maximal 5,58 m.

Die in den Peilfilter gemessenen Schwankungen des Grundwasserspiegels verlaufen gegenüber den Tideschwankungen stark gedämpft, jedoch in einem annähernd gleichen Rhythmus (geringe Phasenverschiebung).

### **3.4 Umwelttechnische Verhältnisse**

#### **3.4.1 Verunreinigungen von Boden**

Die Baufläche wurde bisher landwirtschaftlich genutzt. Auffälligkeiten, die auf das Vorhandensein von Altlasten bzw. Verunreinigungen schließen lassen, wurden augenscheinlich nicht festgestellt. Die bei den Baugrundaufschlüssen entnommenen Bodenproben wurden vor Ort organoleptisch angesprochen. Alle Bodenproben sind danach natürlichen Ursprungs. Es wurden in allen Proben keine Auffälligkeiten festgestellt. Eine Verunreinigung durch erhöhten Düngemittel- oder Pestizideinsatz kann durch die vorgenommene Ansprache nicht erkannt werden.

Die überwiegende Zahl der Schadstoffe ist organoleptisch jedoch nicht wahrnehmbar. Daher kann ohne chemische Analytik nicht ausgeschlossen werden, dass insbesondere auch in den dazwischen liegenden Bereichen Verunreinigungen vorhanden sind.

### **3.4.2 Hinweise zum Umgang mit potentiell sulfatsauren Böden**

In Norddeutschland treten verbreitet Moor- und Marschböden auf, die teilweise sehr hohe Pyritgehalte aufweisen und bei Oxidation große Mengen an Säure und Sulfat freisetzen können. Diese relativ jungen Bildungen (< 10.000 Jahre, besonders Kleiböden und Auesedimente) werden als potentiell sulfatsaure Böden bezeichnet.

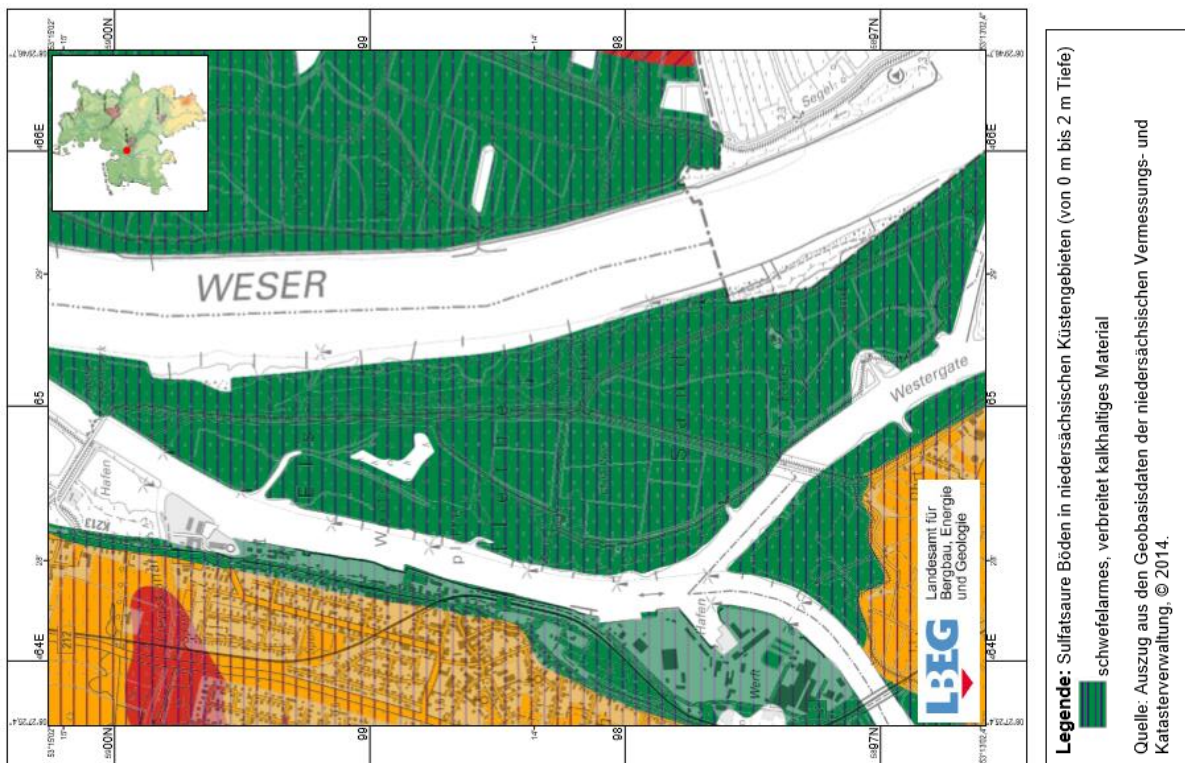
Bodenversauerungen können bei der Umlagerung von Böden aus dem sauerstoffarmen Grundwasserschwankungsbereich an die Geländeoberfläche auftreten. Durch den Kontakt mit dem Sauerstoff aus der Luft kommt es zur Oxidation des Schwefels, der im anaeroben Untergrund meist sulfidisch gebunden ist. Es entstehen schwefelige Säuren. Sehr stark niedrige pH-Werte und hohe Sulfatgehalte sind charakteristisch für versauerte Böden.

In den durchgeführten Sondierbohrungen wurden in der geplanten Aushubtiefe überwiegend Kleischichten mit unterschiedlichen Anteilen an organischen Beimengungen angetroffen.

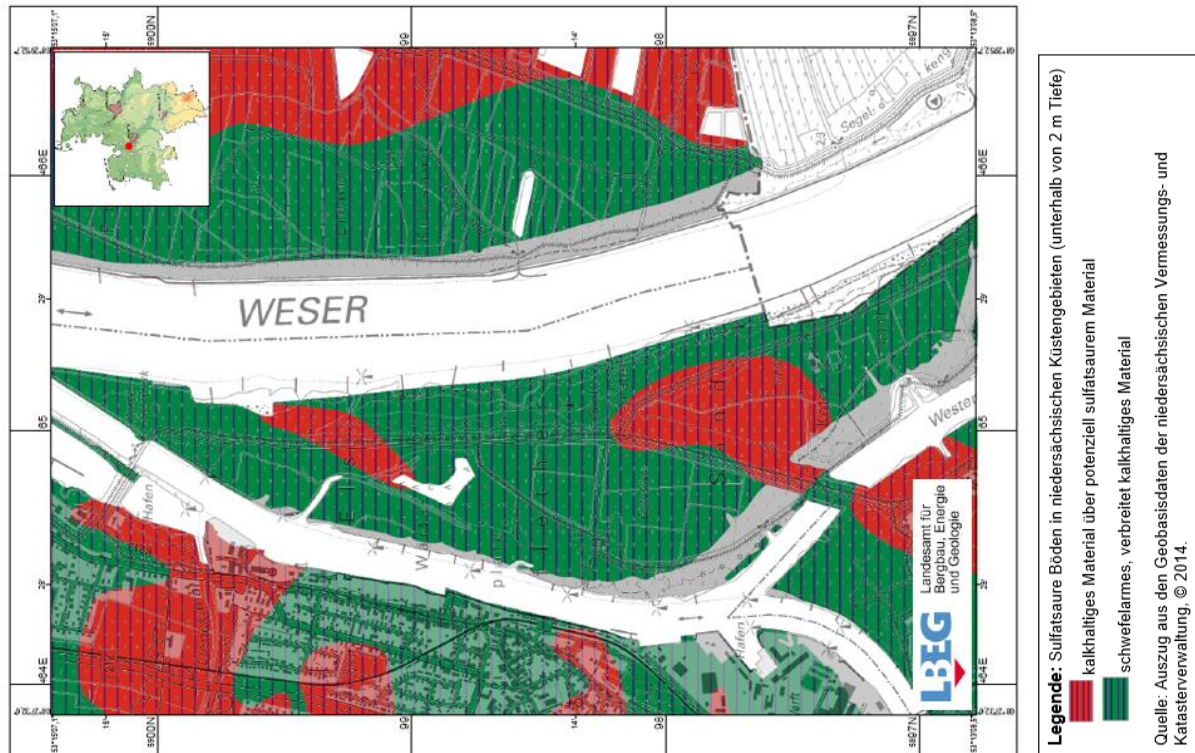
Die Wiederverwendbarkeit von den Kleiböden ist stark davon abhängig, ob diese Böden potentiell sulfatsauer sind. In einem Forschungsprojekt der Universität Bremen und des geologischen Dienstes für Bremen wurden Bewertungsverfahren und Handlungsempfehlungen für den Umgang mit diesen Böden entwickelt. Die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes wurden in den Geofakten 24 und 25 des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) veröffentlicht.

Das LBEG stellt ein Kartenwerk zur Verfügung, in dem die Verbreitung von aktuell und potenziell sulfatsauren Böden bis in „0 m bis 2 m“ und „2 m Tiefe bis zur Basis der holozänen Sedimente“ Tiefe dargestellt ist.

Die folgende Karte gibt für den Tiefenbereich 0 m bis 2 m die Verbreitung von kalkreichen, schluffig- feinsandigen Watablagerung an, die nur in Ausnahmefällen untersucht werden müssen.



Für den Tiefenbereich unterhalb von 2 m Tiefe sind ebenfalls überwiegend kalkreiche, schluffig- feinsandige Watablagerung teilweise aber kalkhaltiges Material über potenziell sulfatsaurem Material (rote Flächen) kartiert worden.



Für eine erste orientierende Abschätzung einer potentiellen Versauerung der anstehenden Kleiböden in der geplanten Aushubtiefe hat die Dr. Pirwitz Umweltberatung folgende Proben für eine Inaugenscheinnahme ausgewählt und zur Analyse an ein chemisches Labor gegeben:

BS Nr.	Tiefe [m]	Bodenart
8	1,15 – 2,00	Schluff, tonig, feinsandig, organisch
9	1,19 – 1,55	Schluff, tonig, feinsandig, schw. organisch
34	1,27 – 2,20	Schluff, organisch, feinsandig, schw. tonig
35	1,20 – 2,10	Schluff, organisch, feinsandig, schw. tonig
42	0,88 – 1,50	Schluff, feinsandig, organisch, schw. tonig

Die Ergebnisse der Untersuchungen werden in einem gesonderten Kurzbericht von der Dr. Pirwitz Umweltberatung dargestellt.

## 4 Beurteilung des Baugrundes

### 4.1 Baugrundmodell

Die ausgeführten Baugrundaufschlüsse geben eine exakte Aussage über die Baugrundsichtung nur für den jeweiligen Untersuchungspunkt. Für die dazwischen liegenden Bereiche sind nur Wahrscheinlichkeitsaussagen möglich.

Für die nachfolgende Baugrundbeschreibung wurden neben den Baugrundaufschlüssen auch Informationen aus Baugrundkarten und geologischen Karten herangezogen. Weiterhin wurden die Erfahrungen aus geotechnischen Untersuchungen nahegelegener Bauvorhaben berücksichtigt. Unter Einbeziehung dieser Unterlagen und Erkenntnisse sind folgende Baugrundverhältnisse im Bereich der Baufläche zu erwarten:

Unterhalb der oberen durchwurzeltten Bodenzone stehen Kleischichten mit Konsistenzen von weich bis halbfest an. In die Kleischichten sind mächtige holozäne Sande und Sand-Schluff-Gemische eingelagert. Unterhalb der Kleischichten folgen pleistozäne Sande.

Die Baugrundaufschlüsse zeigen insgesamt regelmäßige Baugrundverhältnisse, die den allgemeinen Erwartungen mit den üblichen Schwankungsbereichen entsprechen.

### 4.2 Baugrundeigenschaften

Die angetroffenen Bodenarten weisen folgende Baugrundeigenschaften auf:

#### **Klei: Schluff, tonig, sandig, organisch**

Konsistenz:	breiig bis halbfest
Scherfestigkeit:	gering
Zusammendrückbarkeit:	groß
Wasserempfindlichkeit:	groß
Wasserdurchlässigkeit:	schwach bis sehr schwach durchlässig

### **Torf und stark organischer Schluff**

Scherfestigkeit:	sehr gering
Zusammendrückbarkeit:	sehr groß
Wasserempfindlichkeit:	sehr groß
Wasserdurchlässigkeit:	schwach durchlässig

### **Holozäne und pleistozäne Sande**

Scherfestigkeit:	mittel bis groß
Zusammendrückbarkeit:	gering
Wasserempfindlichkeit:	gering
Wasserdurchlässigkeit:	durchlässig bis stark durchlässig

## **4.3 Beurteilung des Baugrundrisikos**

Da Bodenaufschlüsse immer nur eine exakte Aussage für den eigentlichen Untersuchungspunkt ergeben, sind für die dazwischen liegenden Bereiche nur Wahrscheinlichkeitsaussagen möglich. Die Wahrscheinlichkeit einer Aussage über den Aufbau oder bestimmte für die geotechnische Beurteilung maßgebliche Eigenschaften von Boden wächst mit dem Untersuchungsumfang, d. h. mit der Anzahl der Aufschlüsse und nimmt ab mit der Wechselhaftigkeit des Baugrundes. Es bleibt daher immer ein Risiko, dass im Baugrund Abweichungen von den zu erwartenden zu den tatsächlichen Baugrundverhältnissen vorhanden sind. Dieses Risiko wird als Baugrundrisiko bezeichnet. Unter Baugrundrisiko versteht man auch die Gefahr, dass bei jeder Bebauung von Baugrund trotz vorhergehender, den Regeln der Technik entsprechender bestmöglicher Untersuchung und Beschreibung der Boden- und Wasserverhältnisse, unvorhersehbare Erschwernisse auftreten können.

Alles unerwartet im Baugrund Vorgefundene wird ebenfalls vom Begriff des „Baugrundrisikos“ generell ausgefüllt: so etwa Kellergewölbe, Fundamentreste, Holzpfähle, Findlinge, Geheimgänge, Wurzeln, Stollen, Bunker, Reste früherer Kulturen wie Gräber, Hafenbefestigungen, alte Tanks, Kanäle, Versorgungsleitungen aller Art, mit Altlasten verunreinigte oder sonstige kontaminierte Bereiche,



Einlagerungen aller Art, um nur einige Beispiele aus der Baupraxis und der Rechtsprechung anzuführen.

Ein restliches Baugrundrisiko kann daher auch durch eingehende geotechnische Untersuchungen nicht völlig ausgeschaltet werden, da kleinräumige Inhomogenitäten des Baugrundes nicht restlos zu erfassen sind. Ferner werden die bodenmechanischen Kennwerte an faustgroßen Proben ermittelt, die nicht immer repräsentativ für die gesamte Schicht sind. Die Werte der Baugrundparameter streuen in gewissen Bandbreiten und manche Eigenschaften des Baugrundes können mit angemessenem Aufwand nicht festgestellt werden.

Aufgabe der geotechnischen Untersuchungen von Boden als Baugrund ist es, das Baugrundrisiko im Hinblick auf die Aufgabenstellung des jeweiligen Projektes einzugrenzen.

Das Baugrundrisiko wird im vorliegenden Fall durch die Wasserempfindlichkeit bereichsweise vorhandener sandiger Kleischichten, eingelagerter wasserführender Sandschichten, sowie das Potenzial zur möglichen Versauerung der Kleischichten geprägt.

## **5 Beurteilung der Kleiqualität (Anlagen 3.1.1 bis 3.4.4)**

### **5.1 Allgemeines**

Zur Beurteilung der Verwendbarkeit von Kleiboden für den Deichbau bzw. ob die vorhandenen Böden den Vorgaben für Klei entsprechen, wurden die Unterlagen 3 bis 7 herangezogen.

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 % betragen.
- Die Plastizitätszahl  $I_P$  als Maß für die Empfindlichkeit des Bodens gegenüber Wassergehaltsschwankungen sollte > 10 % 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  $\geq 25 \text{ kN/m}^2$  liegen.

Zusammenfassend sind die Grenzwerte T 8 (gem. EAK 2002, korrigierte Ausgabe 2007) bzw. Abbildung 1 (Merkblatt Qualitätssicherung für den Kleieinbau vom 31.05.2018) hier nochmals zusammengefasst:

Bodenart	Grenzwerte EAK 2002, Tabelle G 3		
	schluf./ ton. Klei	sand. Klei	st. sand. Klei
Bodeneigenschaft	gut geeignet	geeignet	bedingt geeignet
Tonanteil $d < 0,002$ mm [%]	20 - 40	15 - 20	10 - 15
Sandanteil $d > 0,063$ mm [%]	10 - 40	25 - 50	30 - 50
Fließgrenze $w_L$ [%]	35 - 70	30 - 55	25 - 40
Plastizitätszahl $I_P$ [%]	20 - 45	15 - 20	10 - 15
Einbauwassergehalt $w$ [%]	25 - 60	25 - 50	25 - 45
Trockendichte $\rho_d$ [t/m <sup>3</sup> ]	1,10 - 1,45	1,15 - 1,5	1,25 - 1,55
Anfangsscherfestigkeit $c_u$ [kPa]	$\geq 25$	$\geq 30$	$\geq 40$
Glühverlust $V_{gl}$ [%]	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 5$

Für die oberste Lage der Deichabdeckung sollten keine bedingt geeigneten Kleiböden verwendet werden.

## 5.2 Ergebnisse der Laborversuche (Anlage 3.1.1 bis 3.4.4)

Die gestörten Proben, die aus der geplanten Aushubtiefe bis 2,50 m unter Geländeoberkante entnommen wurden, wurden in unserem Labor nochmals bodenmechanisch in Augenschein genommen. An charakteristischen Proben wurden die folgenden bodenmechanischen Kennziffern ermittelt:

**Klei: Schluff, tonig, humos, sandig**

Bodengruppe (DIN 18196)

**UL-UA/ OU**

Korngrößenverteilung (DIN 18123)

Feinstes	$d \leq 0,002$	mm	=	7	-	35	%
Schluffkorn	$d = 0,002 - 0,06$	mm	=	47	-	77	%
Sandkorn	$d = 0,06 - 2,0$	mm	=	9	-	43	%
Wassergehalt (DIN 18121)		$w_n$	=	19	-	127	%
Glühverlust (DIN 18128)		$V_{gl.}$	=	7	-	24	%
Fließgrenze		$w_L$	=	42,7	-	111,1	%
Ausrollgrenze		$w_P$	=	20,8	-	40,0	%
Plastizitätszahl		$I_p$	=	18,7	-	71,1	%
Konsistenzzahl		$I_c$	=	-0,8*)	-	0,69	[-]

\*) Negative Konsistenzzahlen weisen auf eine flüssige Zustandsform hin. Bei der Bodenansprache (s. Bodenprofile) wurden keine flüssigen Zustandsformen festgestellt. Wir gehen davon aus, dass durch die Zusammensetzung der betroffenen Proben (hoher Sand- und Grobschluffanteil) sowie organische Beimengungen die Laborversuche zur Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze hier stark beeinflusst sind und nicht den natürlichen Gegebenheiten entsprechen. Diese Werte bleiben bei der weiteren Betrachtung unberücksichtigt.

Bei den untersuchten Proben liegt der Tonanteil zwischen 7 % und 35 %, im Mittel bei 16 %. Der Sandanteil liegt zwischen 9 % und 43 %, im Mittel bei 17 %.

Der Glühverlust der untersuchten Proben liegt zwischen 7 % und 24 %. Die Mutterbodenschichten zeigen erwartungsgemäß höhere Werte zwischen 11 % und 24 % im Mittel 16 %, wohingegen der darunter anstehende Klei Glühverluste zwischen 7 % und 15 % im Mittel von 11 % zeigt.

Die ermittelten Wassergehalte an der Fließgrenze liegen zwischen rd. 42 % und rd. 111 % und an der Ausrollgrenze zwischen rd. 21 % und rd. 40 %. Die Plastizitätszahl reicht von rd. 19 % bis rd. 71 %. Die Konsistenzzahl liegt zwischen 0,11 und 0,69 und gibt eine breiige bis steife Konsistenz an.

Die natürlichen Wassergehalte des Kleibodens zeigen Werte zwischen rd. 19 % und 127 % im Mittel 55 %, wobei tendenziell eine Zunahme und größere Streubreite mit wachsender Tiefe vorliegt.

Bei den durchgeführten HCl-Schnelltest zur Einschätzung eines möglichen Versauerungspotenzials wurde häufig ein H<sub>2</sub>S- Geruch festgestellt. Dies kann ein möglicher aber nicht zwingender Hinweis auf potentiell sulfatsaure Böden sein. Die ermittelten Kalkgehalte liegen überwiegend zwischen 1 % bis 5 %, sodass eine gewisse Säureneutralisationskapazität in den Kleiböden vorliegt. Da Säuren im Boden auch durch Silikate und durch Austauschprozesse an Tonmineralen gepuffert werden können, ist für eine genaue Aussage die Bestimmung der Säureneutralisationskapazität notwendig. Die Ergebnisse der chemischen Analysen zum Versauerungspotential sind gesondert dargestellt.

### **5.3 Beurteilung der Ergebnisse**

Zur Beurteilung der Verwendbarkeit von Kleiböden für den Deichbau wurden die Unterlagen [U3 bis U7] verwendet.

Die Kleiböden aus der geplanten Aushubtiefe lassen sich anhand der im Labor ermittelten Kennwerte nach DIN 18196 in die Bodengruppen UL - UA und OU einordnen.

In der nachfolgenden Tabelle sind die im Labor ermittelten Kennwerte den geforderten Kennwerten für den Deichbau gemäß EAK 2002 gegenübergestellt.

Bodenart	Grenzwerte EAK 2002, Tabelle G 3			Elsflether Sand
	schluffiger, toniger Klei	sandiger Klei	stark sandiger Klei	Klei
Bodeneigenschaft	gut geeignet	geeignet	bedingt geeignet	
Tonanteil $d < 0,002$ mm [%]	20 - 40	15 - 20	10 - 15	8 - 35
Sandanteil $d > 0,063$ mm [%]	10 - 40	25 - 50	30 - 50	9 - 43
Fließgrenze $w_L$ [%]	35 - 70	30 - 55	25 - 40	43 - 111
Plastizitätszahl $I_P$ [%]	20 - 45	15 - 20	10 - 15	19 - 71
Einbauwassergehalt $w$ [%]	25 - 60	25 - 50	25 - 45	19 - 127
Trockendichte $\rho_d$ [t/m <sup>3</sup> ]	1,10 - 1,45	1,15 - 1,5	1,25 - 1,55	nicht bestimmt
Anfangsscherfestigkeit $c_u$ [kPa]	$\geq 25$	$\geq 30$	$\geq 40$	nicht bestimmt
Glühverlust $V_{gl}$ [%]	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 5$	7 - 24

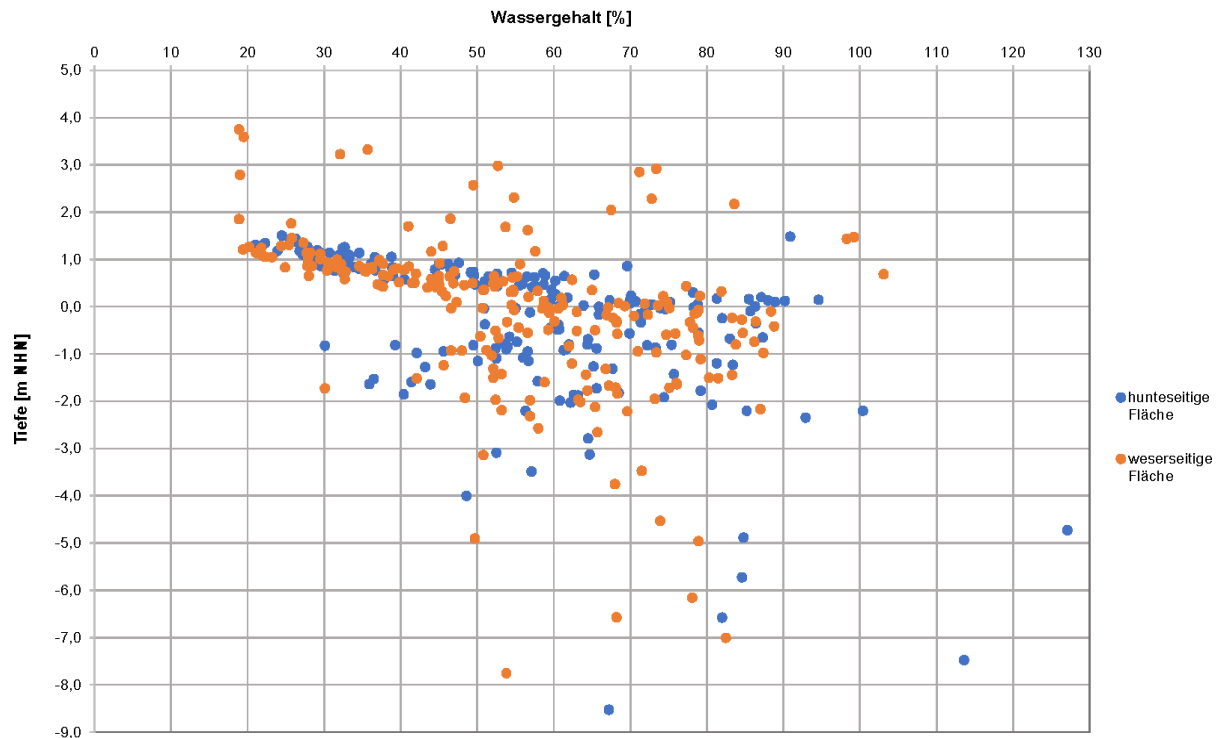
Hinsichtlich seiner Kornzusammensetzung ist der Klei als überwiegend „gut geeignet“ bis „geeignet“ zu bewerten. Bei wenigen der untersuchten Proben unterschreitet der Tongehalt minimal den Grenzwert.

Der Glühverlust der untersuchten Proben überschreitet überwiegend die in der obigen Tabelle angegebenen Grenzwerte. Sieht man aus der EAK Tabelle B8 die Kennwerte zur Beurteilung einer Deichabdeckung aus Kleiböden heran, ist ein Glühverlust bis 15 % zulässig. Im Mittel liegen die Werte bei ca. 16 % (mit oberer durchwurzelten Bodenzone). Die leicht erhöhten Organikgehalte wie auch hohe Wassergehalte können lokal zu größeren Setzungen führen, die allerdings in dem allgemeinen Sicherheitsaufschlag auf die Sollhöhe des Deiches mit einkalkuliert sind und im Folgejahr nach Bedarf egalisiert werden müssen.

Die Fließgrenze und die Plastizitätszahl liegen über dem vorgegebenen Mindestwert, überschreiten teilweise jedoch die Maximalwerte. Die im Versuch ermittelten Konsistenzen zeigen gegenüber der Handansprache teilweise eine weichere Konsistenzform. Dies ist auf einen hohen natürlichen Wassergehalt und die interne Struktur des Kleibodens zurückzuführen. Es ist zu berücksichtigen, dass die organischen Bestandteile bezogen auf die Trockenmasse relativ viel Wasser binden und somit einen starken Einfluss auf die Konsistenz und Konsistenzänderungen durch Wassergehaltsänderungen haben.

Für eine direkte Einbaubarkeit als Deichabdeckungsmaterial ist aus geotechnischer Sicht ein mittlerer Wassergehalt von max. 45 % einzuhalten. Der Kleiboden verliert erfahrungsgemäß 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. Aus einem Wassergehalt von  $\leq 45$  % 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 (Schrumpfung) 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.

Unter Berücksichtigung der dargestellten Streubreite der Wassergehalte (s. nachfolgende Abbildung) und der damit einhergehenden Festigkeitsabnahme sowie Abnahme der Verarbeitbarkeit ist ein Abbau mit anschließender Zwischenlagerung zur Trocknung zu empfehlen.



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

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 nasserem 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.

Die Kleiböden können nach einer Zwischenlagerung in geeigneten haldenförmigen Bodenmieten zur Austrocknung zur Deichabdeckung verwendet werden.

Die Verwendung von Klei mit teilweisen Organikgehalten von mehr als  $15\%$  und die Abdeckung (letzte Schicht) mit Klei mit erhöhten Wassergehalten (i. M.  $> 45\%$ ) können aus geotechnischer Sicht zugelassen werden, wenn der betreffende Deichabschnitt z. Z. des Einbaus bereits einen ausreichenden Hochwasserschutz mit einer ausreichenden Kleiabdeckung aufweist. Die baulichen Maßnahmen sichern die Anforderungen für den zukünftigen Hochwasserschutz.



Auf Grundlage der durchgeführten Baugrunderkundungen und Laborversuche auf dem „Elsflether Sand“ kann in der geplanten Aushubtiefe überwiegend mit für den Deichbau geeigneten Kleiböden gerechnet werden.

Die nach den durchgeführten Feld- und Laborversuchen als deichbaufähig eingestuften Kleischichten sind in den Bodenprofilen mit der Bezeichnung „K1“ gekennzeichnet. Die Qualität der untersuchten Proben aus diesen Tiefen entspricht den Empfehlungen für Küstenschutzbauwerke EAK 2002. Allerdings sind die für den Deichbau geeigneten Kleiböden aufgrund des Wassergehaltes nicht direkt einbaufähig.

Die unterhalb der mit „K1“ gekennzeichneten anstehenden Kleiböden sind nicht für den Deichbau geeignet bzw. stehen in zu großen Tiefen für den geplanten Abbau an.

## **6 Kleimächtigkeiten (Anlage 4.1 und 4.2)**

Bis zur geplanten Aushubtiefe von bis max. 2,50 m unter Geländeoberkante stehen überwiegend Kleischichten bereichsweise auch Sande an.

Die erkundeten Kleiböden wurden gemäß der Handansprache und der bodenmechanischen Laborergebnisse auf ihre Eignung für den Deichbau untersucht und eingestuft. Die prinzipiell deichbaufähigen Kleischichten sind auf den Bodenprofilanlagen als „K1“ markiert.

Auf der Anlage 4.1 ist die Geländeoberkante der untersuchten Renaturierungsfläche in Meter bezogen auf Normalhöhennull dargestellt und auf der Anlage 4.2 ist die Kleimächtigkeit des als deichbaufähig eingestuften Kleibodens („K1“) in Meter unter Geländeoberkante dargestellt.

Es zeigt sich, dass in der weserseitigen Fläche die Kleimächtigkeiten im Mittel etwas größer sind als in der hanteseitigen Fläche. Aufgrund der Abstände der Messpunkte und der Höhe des Hauptdeiches sind hier „Unschärfen“ zu berücksichtigen.

Eine Übersicht über die Kleimächtigkeiten und die Tiefenlage der Kleiunterkante des deichbaufähigen Kleibodens zeigt die nachfolgende Tabelle:

Deichbaufähige Kleiböden Elsfl ether Sand						
Fläche	Kleiunterkante [m NHN]			Mächtigkeit [m]		
	min	mittel	max	min	mittel	max
Gesamtfläche	- 2,47	- 0,19	+ 3,81	0,44	2,11	4,00
nordwestliche Fläche	- 1,37	- 0,31	+ 0,76	1,12	2,06	3,00
südöstliche Fläche	- 2,47	- 0,09	+ 3,81	0,44	2,15	4,00

Die größten Kleimächtigkeiten stehen im Bereich der Sondierbohrung BS 15 im hanteseitigen Bereich der Fläche, sowie bei den Sondierbohrungen BS 63, BS 67, BS 75 und BS 87 in der weserseitigen Fläche an.

## 7 Zusammenfassung

Auf Grundlage der durchgeführten Baugrunderkundungen und bodenmechanischen Laborversuche auf dem „Elsfl ether Sand“ kann bereichsweise mit Kleischichten bis zur geplanten Aushubtiefe gerechnet werden. Diese Kleiböden sind gemäß EAK 2002 überwiegend für den Deichbau geeignet und in den Bodenprofilen markiert.

Nach Festlegung der Lage der auszubauenden Gewässerflächen sind verdichtende Sondierungen durchzuführen, um eine genaue Aussage über Abbautiefen und Auftriebssicherheiten treffen zu können.

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:**

Auftraggeber: Niedersächsischer Landesbetrieb für  
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz  
NLWKN - Betriebsstelle Brake - Oldenburg  
Im Dreieck 12  
26127 Oldenburg

2 x + digital

CTW Container Terminal Wilhelmshaven  
JadeWeserPort-Marketing GmbH & Co.KG  
Pazifik 1  
26388 Wilhelmshaven  
- über NLWKN -

1 x

**8 Anlagenverzeichnis**

I N H A L T	Anlage Nr.	
	von	bis
<b>1. Lageplan</b>		
1.1 Lageplan Maßstab 1 : 25.000 - Übersicht	1.1	
1.2 Lageplan Maßstab 1 : 5.000 - Sondierpunkte	1.2	
<b>2. Felduntersuchungen</b>		
2.1 Bodenprofile aus Sondierbohrungen	2.1.1	2.1.2
2.2 Grundwasserganglinien	2.2.1	2.2.2
<b>3. Laboruntersuchungen</b>		
3.1 Korngrößenverteilungen	3.1.1	3.1.2
3.2 Bodenmechanische Kennziffern	3.2.1	3.2.17
3.3 Zustandsgrenzen	3.3.1	3.3.15
3.4 Kalkgehaltsbestimmung – HCl-Schnellest	3.4.1	3.4.4
<b>4. Auswertung</b>		
4.1 Geländeoberkante (m NHN)	4.1	
4.2 Mächtigkeit deichbaufähiger Kleiboden (m)	4.2	