

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 12453
Datum: 05.07.2019
Zeichen: Els/vBl/(AG)
Datei: O:\19\12453\GTB1.doc

Hochwasserschutz Vegesack, Abschnitte C und D, 28757 Bremen

Geotechnischer Bericht Nr. 1

Ergebnisse der Baugrunduntersuchungen und Angaben von Bodenkennziffern

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

Objekt- und
Tragwerksplanung: Inros Lackner SE
Linzer Str. 3
28359 Bremen



INHALTSVERZEICHNIS

1	Anlass der geotechnischen Untersuchungen	3
2	Bauvorhaben (Anlagen 1 und 2)	4
2.1	Planunterlagen.....	4
2.2	Vorhaben (Anlage 1).....	4
2.3	Untersuchungsgebiet (Anlagen 2.0, 2.1.1 bis 2.2.10)	5
3	Baugrund (Anlagen 2.1.1 bis 2.2.9)	5
3.1	Geologische und bautechnische Vorgeschichte.....	5
3.2	Baugrundaufschlüsse (Anlagen 2.1.1 bis 2.1.9).....	6
3.3	Baugrundverhältnisse (Anlagen 2.1.1 bis 2.2.10).....	7
3.3.1	Ermittlung von Bodenprofilen aus Drucksondierungen (Anlagen 2.1.1 bis 2.1.9)	7
3.3.2	Baugrundsichtung (Anlagen 2.1.1 bis 2.1.9).....	9
3.3.3	Baugrundfestigkeit (Anlagen 2.2.1 bis 2.2.10).....	11
3.4	Grundwasserverhältnisse.....	14
3.4.1	Hauptgrundwasserhorizont.....	14
3.4.2	Oberer Grundwasserhorizont	16
3.4.3	Weserwasserstände	17
3.4.4	Bemessungswasserstände.....	17
3.5	Ergebnisse von Laborversuchen (Anlagen 3.2).....	18
4	Beurteilung des Baugrundes	19
4.1	Baugrundmodell.....	19
4.2	Homogenbereiche – (VOB 2016).....	20
5	Angaben zur Spundwandbemessung	21
5.1	Allgemeines und Hinweise zur Bemessung.....	21
5.2	Bemessungsbodenprofile.....	22
5.3	Ansatz für Mantelreibung und Spitzenwiderstand beim Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit	27
5.4	Angaben für den Nachweis der Rückverankerungen	32
5.5	Negative Mantelreibung durch Auflast	33
5.6	Porenwasserüberdrücke durch Auflast	34
6	Zusammenfassung	35
7	Anlagenverzeichnis	36

1 Anlass der geotechnischen Untersuchungen

Im Zuge der Umsetzung des Generalplan-Küstenschutzes ist eine teilweise Erhöhung der Hochwasserschutzbauwerke in Bremen-Vegesack erforderlich. In diesem Bereich ist der Bremische Deichverband am rechten Weserufer zuständig für die Sicherheit, Unterhaltung und Pflege des Landesschutzdeiches.

Die Inros Lackner AG wurde von dem Deichverband am rechten Weserufer mit der Überprüfung sowie Neuplanung der Bauteile der Landesschutzdeichlinie in diesem Gebiet beauftragt. Für die Berechnung sind grundlegende Baugrundinformationen erforderlich. Das Grundbaulabor Bremen wurde vom Bremischen Deichverband am rechten Weserufer mit den dafür erforderlichen Baugrunderkundungen und Laborarbeiten sowie die Erstellung eines Geotechnischen Berichtes beauftragt. Hierfür wurden vorhandene Baugrundaufschlüsse in dem Untersuchungsgebiet zusammengetragen und weitere erforderliche Baugrundaufschlüsse durchgeführt. Mit unserem Geotechnischen Bericht 1 vom 24.03.2015 (Objekt-Nr.: 14 10932) haben wir bereits Bodenmechanische Kennziffern für die Abschnitte A bis E mitgeteilt. Im Zuge der fortschreitenden Planung im Bereich des ehemaligen Haven Höövts wurden wir beauftragt, für weitergehende Fragestellungen in Abschnitt C und D unsere Angaben zu den Bodenmechanischen Kennziffern zu erweitern. (*Achtung: die vorgegebenen Abschnittsbezeichnungen haben sich gegenüber der Planung aus 2015 geändert*).

Die Ergebnisse der ergänzenden Erkundungen in Abschnitt C haben wir mit E-Mail vom 21.05.2019 bekannt gegeben.

Dieser Geotechnische Bericht 1 enthält die Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse, der Feld- und Laborversuche sowie Angaben der charakteristischen Bodenkennwerte und Berechnungsquerschnitte.

2 Bauvorhaben (Anlagen 1 und 2)

2.1 Planunterlagen

Inros Lackner SE, Bremen

Entwurfsplanung:

- [1] Lageplan HWS Maßnahmen, Bereich Haven Hööv, Abschnitte C+D, Maßstab 1 : 750, vom 05.12.2018
- [2] Schnitte 1-1 bis 9-9, Haven Hööv, Abschnitte C+D, Maßstab 1 : 50 vom 05.12.2018
- [3] Schnitte 10-10 bis 11-11, Haven Hööv, Abschnitte D, Maßstab 1 : 50 vom 12.06.2015
- [4] Leitungsplan, Vorabzug, Maßstab 1 : 500 vom 26.11.2014
- [5] Ausschreibung für ergänzende geotechnische Untersuchungen und Beratungsleistungen im Rahmen der Genehmigungsplanung, ohne Datum

Grundbaulabor Bremen GmbH, Bremen

- [6] Hochwasserschutz Vegesack Abschnitt A bis E, GTB 1 - Ergebnisse der Baugrunduntersuchungen und Angaben von Bodenkennziffern, vom 24.03.2015.

2.2 Vorhaben (Anlage 1)

Bei dem Bauvorhaben handelt es sich um die Hochwasserschutzbauwerke im Bereich des Gebäudes „Haven Hööv“ im östlichen Vegesacker Hafen, die entweder erhöht oder neu gebaut werden sollen. Einen Lageplan des Untersuchungsgebietes im Maßstab 1 : 10.000 zeigt die Anlage 1.

Zur Ermittlung der vertikalen Tragfähigkeit vorhandener und neuer Hochwasserschutzwände sowie der äußeren Tragfähigkeit von Verankerungssystemen sind für jeden Abschnitt bzw. Teilabschnitt Bemessungsbodenprofile mit Angaben der charakteristischen Bodenkennwerte erforderlich.

Außerdem sind gemäß Leistungsbeschreibung Angaben über zulässige Bodenpressungen in den Auffüllungen sowie potenzielle Zusatzbelastungen aus Porenwasserüberdruck und negativer Mantelreibung infolge von Geländeauffüllungen zu untersuchen.

Eine tabellarische Zusammenstellung der einzelnen Teilbereiche mit Angaben über die geplanten Maßnahmen, vorhandener Detailschnitte, den erforderlichen Bodenmechanischen Kennwerten sowie der alten und neuen Sondierungen zeigt die Anlage 4.2

2.3 Untersuchungsgebiet (Anlagen 2.0, 2.1.1 bis 2.2.10)

Das zu untersuchende Gebiet ist von der Inros Lackner AG in die Abschnitte C und D unterteilt worden. Abschnitt C wurde in 8 Teilabschnitte I bis VIII unterteilt.

Einen Übersichtsplan mit den Abschnittsgrenzen zeigt die Anlage 2.0.

3 Baugrund (Anlagen 2.1.1 bis 2.2.9)

3.1 Geologische und bautechnische Vorgeschichte

Nach der geologischen Karte, Blatt Vegesack, ist im Bereich der Untersuchungsfläche mit aufgefülltem Boden (Warfen außerhalb des Weserdeiches Baggergut) zu erwarten.

Nach der Baugrundkarte Bremen, Blatt Vegesack, sind östlich des Hafens (Abschnitt C) das Bodenprofil 3 und in Abschnitt D überwiegend 8b kartiert.

Nach dem Profil 3 ist eine Wechsellagerung von bindigen und organischen Bodenarten mit nichtbindigen Bodenarten (bis 10,00 m und mächtiger) in Talrinnen der Geest über bindigen und nichtbindigen Bodenarten zu erwarten. Es handelt sich dabei um Torf und humose Sande, Schluff und Ton im Wechsel mit Sand und Kies über Sand, Geschiebelehm oder Ton und Schluff ("Lauenburger Ton").

Nach dem Profil 8 b sind nichtbindige Bodenarten (5,00 m bis 10,00 m mächtig) und/oder bindige und organische Bodenarten über bindigen Bodenarten mit weicher bis fester Konsistenz zu erwarten. Es handelt sich dabei um Sande und Kiese (gemischtkörnig) und/oder Schluff - Ton mit wechselnden Anteilen von Sand und organischen Beimengungen (z.B. Auelehm, Klei, Mudde) über Ton - Schluff mit wechselnden Anteilen von Sand ("Lauenburger Ton").

Die Oberfläche der Lauenburger Schichten, die in der Baugrunderkarte Bremen Teil C als Linien gleicher Tiefenlage auf m NN bezogen in 5,00 m Abständen dargestellt wurde, ist bei - 5,00 m NN = ca. 10 m Tiefe zu erwarten. Die Lauenburger Schichten sind in den oberen 3,00 m überwiegend bindig ausgebildet.

Aufgrund der vorhandenen Bebauung sowie Uferbefestigungen usw. ist im Baugrund mit Hindernissen zu rechnen.

Im Abschnitt D ist eine großräumige Kohlenwasserstoffkontamination vorhanden die mit einer umschließenden Dichtwand isoliert wurde. Um eine Ausbreitung der Kontamination zu verhindern werden außerdem die Grundwasserstände dauerhaft durch pumpen reguliert.

3.2 Baugrundaufschlüsse (Anlagen 2.1.1 bis 2.1.9)

Zur Ergänzung der vorhandenen Baugrundaufschlüsse wurden in dem Untersuchungsgebiet (Abschnitt C und D) von unserem Labor vom 09.05 bis 13.05.2019 folgende Baugrundaufschlüsse durchgeführt:

Direkte Baugrundaufschlüsse:

2 Kleinrammbohrungen nach DIN EN ISO 22475-1, Durchmesser 45 mm bis 80 mm, t = 5 m bis 8 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.

Indirekte Baugrundaufschlüsse:

10 elektrische Drucksondierungen CPT-E nach DIN EN ISO 22476-1, $t = 10,2$ m bis 25 m mit getrennter Messung von Spitzendruck und Mantelreibung.

Die Sondierungen BS 308 und 309 wurden örtlich zum Schutz von Leitungen bzw. zum Durchteufen von schwer sondierbaren Auffüllungen sowie zum direkten Aufschluss der Auffüllungen bis in Tiefen von max. 4,5 m vorsondiert.

Für die Beurteilung der Baugrundverhältnisse wurden auch Ergebnisse von Fremdfirmen mit herangezogen, für deren Richtigkeit keine Gewähr übernommen wird.

Das Ergebnis der Baugrundaufschlüsse, höhengerecht im Maßstab 1 : 100 als Bodenprofile mit den Sondierdiagrammen dargestellt, zeigen die Anl. 2.1.1 bis 2.1.9.

3.3 Baugrundverhältnisse (Anlagen 2.1.1 bis 2.2.10)

3.3.1 Ermittlung von Bodenprofilen aus Drucksondierungen (Anlagen 2.1.1 bis 2.1.9)

Bei Drucksondierungen (CPT-E) gemäß DIN EN ISO 22476-1 werden der Spitzenwiderstand q_c und die lokale Mantelreibung f_s fortlaufend elektrisch gemessen. Aufgrund der Tatsache, dass bei diesem Sondierverfahren eine physikalische Größe (MN/m^2) gemessen wird, ist versucht worden, mit den Messwerten Zusammenhänge zu anderen bodenphysikalischen Größen zu ermitteln. Dabei wurde in den 50er Jahren von Begemann, Universität Delft, festgestellt, dass das Verhältnis von örtlicher Mantelreibung zum Spitzendruck charakteristisch für eine Bodenart ist und nicht von der Lagerungsdichte bzw. Konsistenz eines Bodens abhängt. Das Reibungsverhältnis $R_f = (f_s/q_c) \cdot 100$ weist danach bei reinen Sanden niedrige Werte $R_f = 0,5 \%$ bis $1,0 \%$ und bei schluffigen Sanden $R_f = 1,1 \%$ bis $2,0 \%$ auf. In bindigen Böden nimmt die Mantelreibung zu und der Spitzenwiderstand ab, so dass hier Reibungsverhältnisse von $R_f = 2 \%$ bis 4% und bei organischen Bodenarten $R_f = 6 \%$ bis 10% typisch sind.

Das Diagramm von Begemann (entnommen aus Grundbau-Taschenbuch) mit den Bereichen der einzelnen Bodenarten zeigt die Abb. 1.

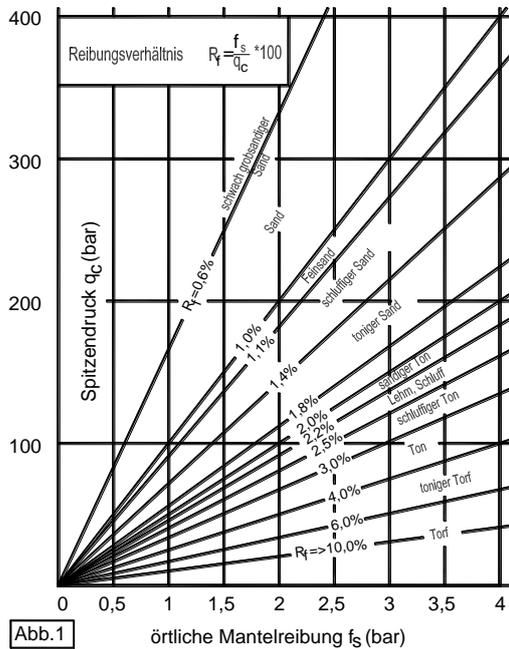


Abb.1

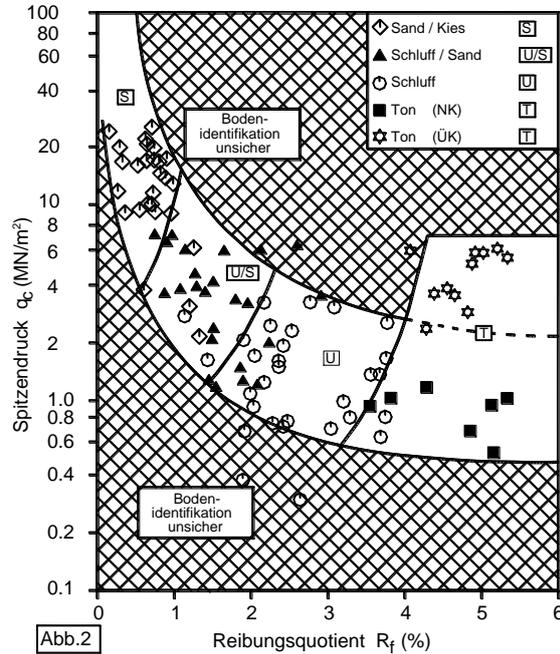


Abb.2

In weiteren Arbeiten wurde angestrebt, neben der reinen Identifikation der Bodenarten auch eine Klassifikation vorzunehmen. Douglas und Olson (1981) zeigten erstmals, dass die Grenzen zwischen den allein nach Körnungslinien eingestuften Bodenarten keine Geraden sind. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens an der Universität Hannover wurde ein Bodenidentifikationsdiagramm (Abb. 2) erarbeitet, das speziell die Belange für den norddeutschen Bereich berücksichtigt. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist im Artikel „Bodenansprache anhand von CPT-Ergebnissen“ von VON BLOH/HARDER (Fachzeitschrift „Tiefbau, Ingenieurbau, Straßenbau“, 12.88) veröffentlicht.

Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse wurde aufgrund umfangreicher Vergleichsuntersuchungen mit Kernbohrungen und daneben ausgeführten Drucksondierungen im Prüfgelände Mercedes-Benz AG, Papenburg, und im Güterverkehrszentrum Bremen ein eigenes EDV-Programm entwickelt. Nach ingenieurmäßiger Überprüfung wurden damit aus den Drucksondierungen Bodenprofile ermittelt. Dabei sind im Allgemeinen nur die Hauptbodenarten sowie bei Sanden schluffige Beimengungen aus den Drucksondierungen eindeutig erkennbar. Es ist besonders bei geologisch jungen, nicht vorbelasteten Böden nicht genau möglich, zwischen stark humosem Schluff/Ton (Klei) und Torf zu unterscheiden.

Falls weitergehende, insbesondere geologische Benennungen vorgenommen wurden, sind diese aus den direkten Aufschlüssen oder entsprechenden Erfahrungen abgeleitet worden.

Die aus den Drucksondierungen ermittelten Bodenprofile zeigen die Anlagen 2.1.1 bis 2.1.9.

3.3.2 Baugrundschiichtung (Anlagen 2.1.1 bis 2.1.9)

Aus den direkten Baugrundaufschlüssen sowie den aus den Drucksondierungen interpretierten Bodenprofilen ist die nachstehende Schichtenfolge erkennbar:

Abschnitt C (alt B):

Im Abschnitt C sind zunächst örtliche Oberflächenbefestigungen aus Pflastersteinen, Gehwegplatten oder Betonsohlen bis in 0,06 m bis 0,35 m vorhanden. Darunter bzw. ab GOK folgen in den meisten Sondierungen Auffüllungen aus überwiegend Sand, örtlich schluffig sowie Bauschuttbeimengungen und Sand-/Schluffgemische. In der BS 5 (Teilabschnitt I) wurden in den Auffüllungen in 0,6 m Tiefe ein 0,3 m mächtiges Rotsteinpaket sowie in den tieferen Auffüllungen Kanalrohrreste und weitere Rotsteinreste bis in 3,3 m Tiefe angetroffen.

Die Sondierung BS 14 (Teilabschnitt II) musste in 3,7 m Tiefe wegen eines Hindernisses abgebrochen werden. In der BS 25/U (Teilabschnitt V) wurde in den Auffüllungen Bauschutt, Steine und Dieselgeruch angetroffen und in der BS 26/U ist in den Auffüllungen eine 1,1 m mächtige Schicht aus Steinen und Bauschutt eingelagert. Die BS 15 musste in 4,35 m Tiefe wegen einem Hindernis abgebrochen werden. In BS 17 (Teilbereich VIII) wurde an der Basis der Auffüllungen in 3,20 m Tiefe Schlacke und Geruch festgestellt. Örtlich folgen unter den Auffüllungen 0,5 m bis 4,2 m mächtige gewachsene Mittel- und Grobsande.

Unter den aufgefüllten und gewachsenen Sanden folgen in Tiefen zwischen 1 m und 7,25 m = + 3,3 m NN und – 2 m NN holozäne Weichschichten, überwiegend als tonige, schwach humose Schluffe, örtlich mit Torfschichten. Die holozänen Weichschichten weisen Schichtmächtigkeiten zwischen 1,2 m und 7,1 m auf. In den Sondierungen 0123, BS 26/U, B 4/52 und DS 226 (Teilabschnitt VI), wurden unter den Auffüllungen keine holozänen Weichschichten angetroffen. Darunter folgen fein- bis grobsandige Mittelsande, die im Übergangsbereich zu den holozänen Weichschichten schluffige und humose Anteile aufweisen. In Tiefen zwischen 5,1 m und 11,65 m = - 1,65 m NN bis – 6,8 m NN folgen Lauenburger Schichten, die überwiegend als Lauenburger Ton, örtlich als Ton-/Sandgemische anstehen. Die Lauenburger Schichten wurden in der Endtiefe der Sondierbohrungen nicht durchteuft.

Abschnitt D (alt C):

Unter einer 2,8 m bis 6,8 m mächtigen Auffüllung aus Sanden, Schluffen und z. T. Geschiebelehm sowie Bauschuttresten, Rotsteinen und Schlacke, mit z. T. Heizöl- und Dieselgeruch, folgen im überwiegenden Teil Wesersande, in denen in BS 237 und BS 43 in Tiefen zwischen 4,4 m und 2,8 m 0,8 m bis 1,4 m mächtige humose Schluffe zwischengelagert sind. In BS 43, BS 308 und BS 309 folgen unter den Auffüllungen 0,2 m und rd. 1,0 m mächtige Torfschichten. Unter den Wesersanden folgen in 5,6 m bis 9,4 m Tiefe = + 0,1 m NN bis – 2,2 m NN Lauenburger Schichten, überwiegend als Ton, örtlich als schluffige Sande. In BS 43 und BS 237 wurden zwischen den Wesersanden und den Lauenburger Schichten 0,5 m bis 1,7 m mächtige Beckenschluffe angetroffen.

Die Lauenburger Schichten wurden in der Endtiefe nicht durchteuft.

In den Sanden oberhalb der Lauenburger Schichten ist mit Steinen und Geröll bis Blockgröße zu rechnen. Genauere Angaben zur Mächtigkeit und Verbreitung sind anhand von Baugrundaufschlüssen wegen des begrenzten Bohrdurchmessers nicht zu gewinnen.

In Bereichen, in denen die Auffüllungen mangels typischer Beimengungen (wie z. B. Bauschutt) nicht erkennbar sind, kann die tatsächliche Unterkante der Auffüllung unterhalb den Angaben im Bodenprofil liegen (die ursprüngliche Geländehöhe ist nicht bekannt). Des Weiteren besteht die Möglichkeit, dass Niederungsböden / gewachsene Sande / Kleie etc. durch Vermengung mit Bauschuttresten bei der Eindringung der Sonde den Auffüllungen zugeordnet werden.

3.3.3 Baugrundfestigkeit (Anlagen 2.2.1 bis 2.2.10)

Aus den Sondierwiderständen der Drucksonde (CPT) nach DIN EN ISO 22476-1 kann bei nichtbindigen Böden unmittelbar auf die Baugrundfestigkeit geschlossen werden. Als Festigkeit ist hier die Eigenschaft eines nichtbindigen Bodens bezeichnet, die durch Lagerungsdichte, Korngröße und -rauigkeit gekennzeichnet ist und sich in der Größe des Steifemoduls E_S sowie des Winkels der inneren Reibung φ' äußert. Ferner muss beachtet werden, dass der Eindringwiderstand vom Sondieransatzpunkt bis zu einer Oberflächeneinflusstiefe zunimmt und danach bei sonst gleichen Randbedingungen einen nahezu konstanten Wert aufweist. Dies ist auf den Einfluss des Überlagerungsdruckes auf die Verdrängung des Bodens zurückzuführen. Bei geringer Auflast sind dadurch zunächst auch geringe Schlagzahlen bzw. Spitzendrücke zu erwarten.

Ferner ist zu berücksichtigen, dass beim Übergang vom festen zum weichen Baugrund der Eindringwiderstand bereits oberhalb der Weichschicht abnimmt, weil eine Verdrängung des festen in den weichen Boden stattfindet. Umgekehrt wird beim Übergang vom weichen zum festen Boden der Eindringwiderstand bereits oberhalb der eigentlichen Schichtgrenze ansteigen. Es kann von folgendem Zusammenhang zwischen dem Spitzendruck und der Baugrundfestigkeit ausgegangen werden:

Spitzendruck q_c [MN/m ²]	Benennung der Festigkeit	Lagerung
0 - 2	sehr gering	sehr locker
2 - 4	gering	locker
4 - 10	mittel	mitteldicht
10 - 20	groß	dicht
> 20	sehr groß	sehr dicht

Bei den Sanden ist in den Bodenprofilen jeweils die Lagerung gem. vorstehender Tabelle angegeben.

Die Schichtgrenzen in den Sanden wurden nach den Grenzfestlegungen des Spitzendruckes der vorstehenden Tabelle vorgenommen und können aus den jeweiligen Darstellungen in den Bodenprofilen mit den daneben aufgezeichneten Drucksondierungsdiagrammen entnommen werden.

Abschnitt C (alt B):

In den aufgefüllten Böden (örtlich unterhalb der bis in Tiefen zwischen 2 m und 4,5 m vorgegraben, bzw. -geramten Bereiche) zeigen die Drucksondierungen überwiegend Spitzendrucke von $q_c = 1$ MN/m² bis 5 MN/m², $q_{c,max} = 10$ MN/m² sowie Schlagzahlen von $n_{10} = 1$ MN/m² bis 5 MN/m², z. T. > 5 MN/m², was überwiegend auf sehr geringe bis mittlere Festigkeiten hindeutet. Mit den ergänzenden Sondierungen DS 301 bis DS 304 (Teilabschnitt IV bis VII) wurde in der Tragschicht unter den gekernten Oberflächenbefestigungen bis in Tiefen zwischen rd. 0,6 m und rd. 0,8 m unter GOK maximale Spitzendrucke von 63 MN/m² bis 101 MN/m², was einer sehr großen Festigkeit entspricht.

In den darunter folgenden Weichschichten fallen die Spitzendrücke erwartungsgemäß auf $q_c \leq 1 \text{ MN/m}^2$ ab und zeigen eine sehr geringe Festigkeit. In den darunter folgenden Wesersanden wurden Spitzendrücke von $q_c = 5 \text{ MN/m}^2$ bis 15 MN/m^2 , z. T. $> 15 \text{ MN/m}^2$ erkundet, die auf eine mittlere bis große, z. T. sehr große Festigkeit hinweisen.

In den darunter folgenden Lauenburger Tonen fallen die Spitzendrücke erwartungsgemäß auf $q_c = \text{rd. } 1 \text{ MN/m}^2$, mit zunehmender Tiefe bis rd. 3 MN/m^2 und zeigen eine sehr geringe bis geringe Festigkeit. In den zwischengelagerten Sanden der Lauenburger Schichten steigen die Spitzendrücke auf $q_c \geq 10 \text{ MN/m}^2$, z. T. $> 20 \text{ MN/m}^2$ an und zeigen eine große bis sehr große Festigkeit.

Abschnitt D (alt C):

In den aufgefüllten Böden (örtlich unterhalb der 3 m bis 4,5 m tiefen Vorsondierungen) zeigen die Drucksondierungen Spitzendrücken von $q_c \leq 1 \text{ MN/m}^2$ bis 5 MN/m^2 , z. T. $> 5 \text{ MN/m}^2$, was auf überwiegend sehr geringe bis geringe Festigkeiten hindeutet. In den Drucksondierungen DS 7 und DS 10 wurden in den Auffüllungen ab GOK Spitzendrücke von $q_c = 3 \text{ MN/m}^2$ bis 20 MN/m^2 z. T. $> 20 \text{ MN/m}^2$ erkundet, die auf eine überwiegend mittlere bis große Festigkeit hinweisen.

In den darunter folgenden Wesersanden wurden Spitzendrücke von $q_c = 10 \text{ MN/m}^2$ bis 20 MN/m^2 , z. T. $> 20 \text{ MN/m}^2$ erkundet, die auf eine überwiegend große, z. T. sehr große Festigkeit hinweisen.

In den darunter folgenden Lauenburger Tonen fallen die Spitzendrücke erwartungsgemäß auf $q_c \leq 1 \text{ MN/m}^2$, mit zunehmender Tiefe bis rd. 3 MN/m^2 und zeigen eine sehr geringe bis geringe Festigkeit. In den zwischengelagerten Sanden der Lauenburger Schichten, steigen die Spitzendrücke auf $q_c \geq 10 \text{ MN/m}^2$, z. T. $> 20 \text{ MN/m}^2$ an und zeigen eine große bis sehr große Festigkeit.

3.4 Grundwasserverhältnisse

3.4.1 Hauptgrundwasserhorizont

Nach den durchgeführten Baugrundaufschlüssen sind die unter der Auffüllung und den humosen Weichschichten anstehenden Wesersande der Grundwasserleiter des Hauptgrundwasserhorizontes. Den Grundwassernichtleiter bilden die anstehenden Lauenburger Schichten.

Aufgrund der Mächtigkeit der z. T. anstehenden, sehr gering durchlässigen humosen Schluffschichten ist ein gespannter Grundwasserhorizont vorhanden.

In der Kleinbohrung BS 13 im Teilabschnitt III in Abschnitt C wurde am 19.11.2015 ein Peilfilter eingebaut, dessen Filterstrecke in den Sanden des Hauptgrundwasserleiters liegt. Während der Sondierarbeiten wurde ein Grundwasserstand in Ruhe in 2,96 m Tiefe = + 1,42 m NN eingemessen.

Vom Geologischen Dienst für Bremen (GDfB) wurden die Grundwasserverhältnisse des Hauptgrundwasserstockwerkes in einem umfangreichen Grundwassermessstellennetz im Zeitraum von Dezember 1962 bis Januar 2012 beobachtet.

Aus diesen Grundwasserbeobachtungen wurde die Hydrologische Karte für die Stadtgebiete Bremen und Bremerhaven erstellt, aus der die Grundwasserstände bezogen auf m NN abgelesen werden können. Danach sind im Bereich der untersuchten Baufläche wie folgt unterschiedliche Grundwasserstände des Hauptgrundwasserstockwerkes angegeben:

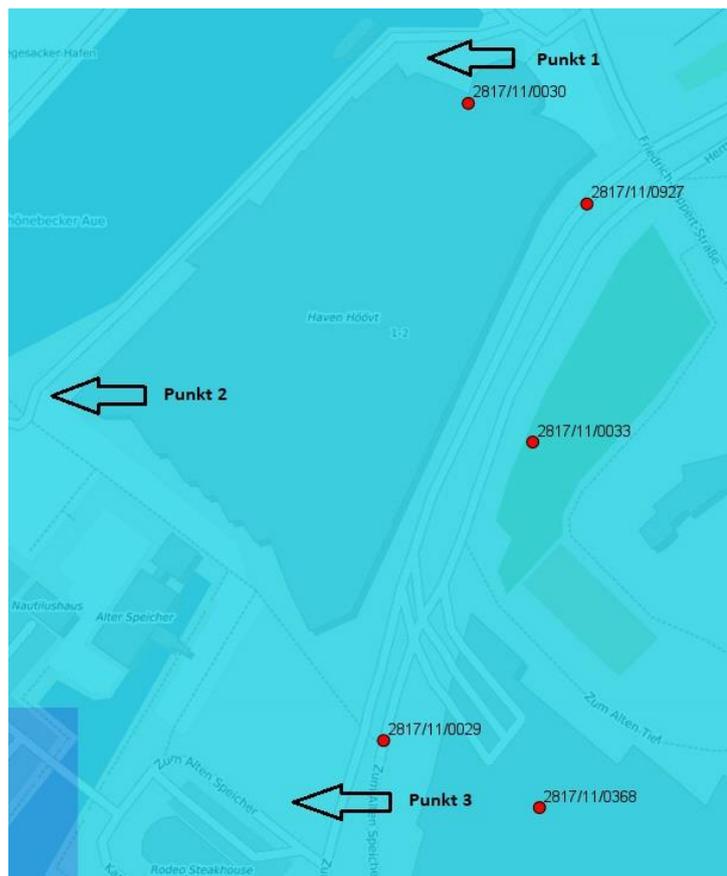


Bild: Lage der interpolierten Wasserstände

Punkt 1 (Abschnitt C, Teilabschnitt I):

Niedrigster Grundwasserstand:	+ 0,6	m NN
Mittlerer Grundwasserstand:	+ 0,7	m NN
höchster Grundwasserstand:	+ 3,04	m NN

Punkt 2 (Abschnitt C, Teilabschnitt VII, VIII):

Niedrigster Grundwasserstand:	+ 0,4	m NN
Mittlerer Grundwasserstand:	+ 0,5	m NN
höchster Grundwasserstand:	+ 1,2	m NN

Punkt 3 (Abschnitt D):

Niedrigster Grundwasserstand:	+ 0,4	m NN
Mittlerer Grundwasserstand:	+ 0,5	m NN
höchster Grundwasserstand:	+ 1,83	m NN

Es ist bekannt, dass im Bereich des Untersuchungsgebietes vertikale Sperrungen und andere unterirdische Bauwerke vorhanden sind, die die Grundwasserstände erheblich beeinflussen können. Inwiefern diese Einflüsse in den vom *Geologischen Dienst für Bremen* interpolierten Wasserständen berücksichtigt werden, ist nicht bekannt.

Darüber hinaus werden die Wasserstände des Hauptgrundwasserstockwerkes aufgrund der Nähe zur Lesum/Weser durch die Tide beeinflusst. Aus der Auswertung von Grundwassermessstellen nahe der Weser (andere Bauvorhaben) haben wir die Erfahrung gemacht, dass die Grundwasserstände auch rd. 15 m hinter der Hafenspundwand mit den Weserwasserständen, wenn auch gedämpft, korrelieren. Bei extremen Hochwasserständen können somit auch höhere Grundwasserstände als die o. g. Werte auftreten.

3.4.2 Oberer Grundwasserhorizont

Die eingelagerten humosen Schluffschichten wirken als Grundwasserstauer für einen oberen Grundwasserhorizont, für den die überlagernde Auffüllung den Grundwasserleiter bildet.

Im Bereich der bindigen und humosen Schluffschicht ist insbesondere bei sandigen Zwischenschichten oder darüber lagernden Auffüllungen mit stauendem Schichtenwasser in Abhängigkeit von Niederschlägen zu rechnen. Bei lang anhaltenden Niederschlägen ist im ungünstigsten Fall davon auszugehen, dass sich Schichtenwasser bis zur Geländeoberkante anstaut.

3.4.3 Weserwasserstände

Der Wasserstand der Lesum ist im Bereich des Vegesacker Hafens (Mündungsbereich der Lesum) mit dem Wasserstand der Weser gleichzusetzen und dementsprechend wie der Weserwasserstand tideabhängig. Vom Wasser- und Schifffahrtsamt Bremen, Abteilung Gewässerkunde, sind folgende hydrologische Werte der Weser für den Pegel Vegesack (Kilometer 17,850 re) gemessen worden:

HHThw (28.01.1994)	+	5,33 m NN
MThw 01/10	+	2,39 m NN
MTnw 02/10	-	1,55 m NN
NNTnw (15.03.1964)	-	3,29 m NN

3.4.4 Bemessungswasserstände

Unter Berücksichtigung der vorstehend beschriebenen hydrologischen Verhältnisse sowie unserer hydrologischer Erfahrungen werden für das Bauvorhaben folgende Bemessungsgrundwasserstände festgelegt:

Abschnitt C, Teilabschnitt I bis VII

Niedrigster Grundwasserstand:	+	0,4	m NN
Mittlerer Grundwasserstand:	+	0,8	m NN
Maximaler Grundwasserstand:			GOK

Abschnitt C, Teilabschnitt VIII, Abschnitt D

Niedrigster Grundwasserstand:	+	0,4	m NN
Mittlerer Grundwasserstand:	+	0,6	m NN
Maximaler Grundwasserstand:			GOK

Das Niveau des durch Pumpen geregelten Grundwasserstandes im Bereich der isolierten Kohlenwasserstoffkontamination im Abschnitt D ist uns nicht bekannt. Nach Kenntnis dieses Wasserstandes sind die Bemessungswasserstände ggf. anzupassen.

3.5 Ergebnisse von Laborversuchen (Anlagen 3.2)

Die an den bereits vorhandenen Sondierungen im Labor ermittelten bodenmechanischen Kennziffern sind unseren Geotechnischen Berichten Nr. 1 und Nr. 2 vom 24.03.2015 und 26.01.2016 (Objektnr.: 14 10932) zu entnehmen.

Von den gestörten Bodenproben aus BS 308 und BS 309 wurden in unserem Labor folgende bodenmechanische Kennziffern ermittelt:

Auffüllung: Schluff, Feinsandig, schwach humos

Bodengruppe (DIN 18196)		UL		
Wassergehalt (DIN EN ISO 17892-1)	$w_n =$	13,3	-	41,8 %

Auffüllung: Sande stark schluffig

Bodengruppe (DIN 18196)		SU*		
Wassergehalt (DIN EN ISO 17892-1)	$w_n =$	9,7	-	10,4 %

Torf

Bodengruppe (DIN 18196)		HZ		
Wassergehalt (DIN EN ISO 17892-1)	$w_n =$	112,6	-	163,5 %

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 Untersuchungsgebiet zu erwarten:

Unter örtlich vorhandenen Oberflächenbefestigungen aus Pflaster, Beton und Asphalt folgen bis zu rd. 7,25 m mächtige Auffüllungen aus Sand und Schluff, z. T. mit Geschiebelehm und Bauschuttbeimengungen, Recyclingmaterialien und Beton (die z.T. zum Abbruch der Sondierungen geführt haben), in denen in Abschnitt D in unterschiedlichen Tiefen Heizöl- und Dieselgeruch festgestellt wurde.

Unter den Auffüllungen folgen im Allgemeinen humose Weichschichten aus humosen Schluffen, örtlich Torf, mit stark unterschiedlicher Mächtigkeit, örtlich, wo die Weichschichten im Bereich der Auffüllungen bereits ausgetauscht wurden folgen gut tragfähige Wesersande, örtlich sind die Weichschichten auch den Wesersanden zwischengelagert.

Die Wesersande werden in Tiefen zwischen rd. $\pm 0,0$ m NN und rd. $- 5$ m NN von Lauenburger Schichten (Ton mit Sandzwischen-schichten) unterlagert.

Die Baugrundaufschlüsse zeigen insgesamt unregelmäßige Schichtungen der unterschiedlichen Bodenarten. Die Mächtigkeit der einzelnen Bodenarten sind sehr stark unterschiedlich, insbesondere die Mächtigkeit und auch die Zusammensetzung der Auffüllung. Die angetroffenen Baugrundverhältnisse entsprechen den allgemeinen Erwartungen mit den üblichen Schwankungsbereichen, die aus den bereits vorhandenen Baugrunderkundungen und geologischen Karten bekannt sind.

Bei den nachfolgenden Angaben zur Bemessung der Hochwasserschutzbauwerke ist zu berücksichtigen, dass die aus den Drucksondierungsprofilen interpretierten Auffüllungen nur eine Aussage über bindigen und nichtbindigen Baugrund zulassen. Detaillierte Angaben zu der Zusammensetzung der Auffüllung, wie Bauschuttbeimengungen, Geschiebelehmanteil, humose Anteile im Schluff usw. können nur durch direkte Baugrundaufschlüsse gewonnen werden.

4.2 Homogenbereiche – (VOB 2016)

In der VOB 2016 werden die jahrzehntelang geltenden Klassifizierungen in Boden- und Felsklassen durch Homogenbereiche vollständig ersetzt. Der Homogenbereich ist ein begrenzter Bereich, bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- oder Felsschichten, der für das jeweilige Gewerk vergleichbare Eigenschaften aufweist. Betrachtet werden die Eigenschaften im Zustand vor dem Lösen, also in durch die Baumaßnahme ungestörter Lagerung. Sind umweltrelevante Inhaltsstoffe zu beachten, sind diese bei der Einteilung in Homogenbereiche zu berücksichtigen. In der VOB 2016, sind die anzugebenden Eigenschaften und Kennwerte für den Erdbau und alle Spezialtiefbauarbeiten aufgeführt.

Einige Angaben werden auf Basis von Erfahrungen abgeschätzt. Bei größeren Baumaßnahmen oder zur engeren Erfassung von Schwankungsbreiten sind ggf. zusätzliche Baugrund- und Laboruntersuchungen erforderlich.

Nach den Vorgaben der aktuellen VOB 2016 werden die Eigenschaften/Kennwerte unter Berücksichtigung der festgelegten Homogenbereiche für die nachfolgenden Gewerke auf den Anlagen 4.1.1 bis 4.1.4 dargestellt:

DIN 18300	Erdarbeiten
DIN 18301	Bohrarbeiten
DIN 18304	Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten

5 Angaben zur Spundwandbemessung

5.1 Allgemeines und Hinweise zur Bemessung

Für die Herstellung des Hochwasserschutzes sollen vorhandene Spundwände für neue Belastungssituationen bemessen werden und ggf. neue Spundwände mit Rückverankerung geplant werden.

Sofern neue Auffüllungen hinter der Spundwand hergestellt werden, treten in den organischen Weichschichten Setzungen auf. Aus diesen Setzungen sind für die Spundwände Zusatzbelastungen aus negativer Mantelreibung zu erwarten, die bei der Bemessung der Spundwand zu berücksichtigen sind (vgl. Ziffer 5.5).

Bei der Spundwandberechnung sind die Empfehlungen der EAB und EAU zu berücksichtigen.

Zusätzlich sind die Wasserdruckdifferenzen vor und hinter der Spundwand für den ungünstigsten Zustand zu berücksichtigen. Entsprechend den Angaben der EAU Abschnitt 4 richtet sich die Größe des Wasserüberdruckes nach den Außenwasserspiegelschwankungen, der Lage des Bauwerkes, dem Grundwasserzustrom, der Durchlässigkeit des Gründungsbodens, der Durchlässigkeit des Bauwerkes und der Leistungsfähigkeit von etwa vorhandener Entwässerung der Hinterfüllung.

Bei Überflutung des Uferbauwerkes, im Falle geschichteter Böden, von sehr durchlässigen Spundwandschlössern und bei artesisch gespanntem Grundwasser sind besondere Untersuchungen erforderlich.

5.2 Bemessungsbodenprofile

Aufgrund der Versuchsergebnisse der Labor- und Feldversuche und nach Erfahrungswerten mit vergleichbaren Bodenarten können für erdstatische Berechnungen folgende charakteristische Bodenkennwerte in den angegebenen Berechnungsquerschnitten angesetzt werden:

Abschnitt C (alt B)

DS 283 (Teilabschnitt I):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Wichte γ_k/γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	Homogenbereich
GOK	+ 1,4	Auffüllung	18/10	27,5	0	5	A
+ 1,4	- 3,8	Schluff, humos	17/ 7	20,0	5	1 ^{*)}	B
- 3,8	- 4,2	Sand	18/10	35,0	0	80	C

DS 284 (Teilabschnitt I):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Wichte γ_k/γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	Homogenbereich
GOK	+ 2,7	Auffüllung	18/10	30,0	0	10	A
+ 2,7	- 1,2	Schluff, humos	17/ 7	20,0	5	1 ^{*)}	B
- 1,2	- 4,1	Sand	18/10	35,0	0	30	C
- 4,1	- 15,30	Lauenburger Ton	20/10	22,5	10	15	D

DS 285 (Teilabschnitt II, III):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Wichte γ_k/γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	Homogenbereich
GOK	+ 3,3	Auffüllung	18/10	30,0	0	15	A
+ 3,3	- 2,2	Schluff, humos	17/ 7	20,0	5	1 ^{*)}	B
- 2,2	- 4,0	Sand	18/10	35,0	0	30	C
- 4,0	- 15	Lauenburger Ton	20/10	22,5	10	15	D

DS 301 (Teilabschnitt IV):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Wichte γ_k / γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	Homogenbereich
GOK	+ 1,8	Auffüllung	18/10	30,0	0	15	A
+ 1,8	- 1,8	Schluff, humos	17/ 7	20,0	5	1 ^{*)}	B
- 1,8	- 4,4	Sand	18/10	35,0	0	30	C
- 4,4	- 15	Lauenburger Ton	20/10	22,5	10	15	D

DS 302 (Teilabschnitt IV, V):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Wichte γ_k / γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	Homogenbereich
GOK	- 0,7	Auffüllung	18/10	30,0	0	40	A
- 0,7	- 2,6	Schluff, sandig	17/ 7	20,0	5	1 ^{*)}	B
- 2,6	- 4,9	Sand	18/10	35,0	0	60	C
- 4,9	- 18	Lauenburger Ton	20/10	22,5	10	15	D

DS 303 (Teilabschnitt V, VI):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Wichte γ_k / γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	Homogenbereich
GOK	- 1,8	Auffüllung	18/10	30,0	0	15	A
- 1,8	- 2,7	Schluff, sandig	17/ 7	20,0	5	1 ^{*)}	B
- 2,7	- 4,5	Sand	18/10	35,0	0	50	C
- 4,5	- 15	Lauenburger Ton	20/10	22,5	10	15	D

DS 226 (Teilabschnitt VI, VII):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Wichte γ_k / γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	Homogenbereich
+ 0,6	- 2,1	Auffüllung, Schluff	17/ 7	20,0	5	2 ^{*)}	A
- 2,1	- 5,0	Sand	19/11	35,0	0	60	C
- 5,0	- 10,0	Lauenburger Ton	20/10	22,5	5	15	D

DS 304 (Teilabschnitt VII):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Wichte γ_k / γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	Homogenbereich
GOK	- 0,8	Auffüllung	18/10	30,0	0	30	A
- 0,8	- 2,2	Schluff, sandig	17/ 7	20,0	5	1 ^{*)}	B
- 2,2	- 5,5	Sand	19/11	35,0	0	100	C

DS 305 (Teilabschnitt VII, VIII):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Wichte γ_k / γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	Homogenbereich
GOK	+ 0,9	Auffüllung Schluff, sandig	17/ 7	20,0	5	-	A
+ 0,9	- 2,6	Schluff, humos	17/ 7	20,0	5	1 ^{*)}	B
- 2,6	- 6,2	Sand	18/10	35,0	0	80	C
- 6,2	- 17	Lauenburger Ton	20/10	22,5	10	15	D

DS 231 (Teilabschnitt VIII):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Wichte γ_k / γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	Homogenbereich
+ 0,5	- 0,3	Auffüllung, Schluff	17/ 7	20,0	2,5	1 ^{*)}	A
- 0,3	- 5,5	Schluff, sandig	17/ 7	22,5	5	2 ^{*)}	B
- 5,5	- 6,8	Sand, schluffig	18/ 9	30,0	2,5	60	C
- 6,8	- 14,0	Lauenburger Ton	20/10	22,5	10	15	D

DS 306 (Teilabschnitt VIII):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Wichte γ_k / γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	Homogenbereich
GOK	- 0,4	Auffüllung	18/10	30	0	60	A
- 0,4	- 5,7	Schluff, humos, sandig	17/ 7	20,0	5	3 ^{*)}	B
- 6,2	- 14	Lauenburger Ton	20/10	22,5	10	15	D

DS 232 (Teilabschnitt VIII):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Wichte γ_k / γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	Homogenbereich
+ 1,0	- 0,8	Auffüllung und Sand, schluffig	18/ 9	25,0	0	5	A
- 0,8	- 6,2	Schluff, humos	17/ 7	20,0	5,0	1*)	B
- 6,2	- 6,8	Sand	18/10	35,0	0	20	C
- 6,8	- 15	Lauenburger Ton	20/10	22,5	7,5	15	D

DS 307 (Teilabschnitt VIII):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Wichte γ_k / γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	Homogenbereich
GOK	+ 1,5	Auffüllung	18/10	32,5	0	60	A
+ 1,5	- 0,4	Schluff, sandig	17/ 7	20,0	5	2*)	B
- 2,7	- 2,1	Sand	18/10	35,0	0	40	C
- 2,1	- 18	Lauenburger Ton	20/10	22,5	10	20	D

Abschnitt D (alt C):

DS 307:

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Wichte γ_k / γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	Homogenbereich
GOK	+ 1,5	Auffüllung	18/10	32,5	0	60	A
+ 1,5	- 0,4	Schluff, humos	17/ 7	20,0	5	2*)	B
- 2,7	- 2,1	Sand	18/10	35,0	0	40	C
- 2,1	- 18	Lauenburger Ton	20/10	22,5	10	20	D

*) $E_{s,k}$ ist nicht als seitliche Bettung ansetzbar

DS 308 :

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Wichte γ_k / γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	Homogenbereich
GOK	- 0,3	Auffüllung	18/10	32,5	0	10	A
- 0,3	- 2,2	Sand	18/10	35,0	0	60	C
- 2,2	- 13	Lauenburger Ton	20/10	22,5	10	20	D

DS 281, 279:

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Wichte γ_k / γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	Homogenbereich
GOK	± 0,0	Auffüllungen, Sand und Schluff	17/ 7	25,0	0	10	A
± 0,0	- 2,0	Sand	19/11	35,0	0	60	C
- 2,0	- 14	Lauenburger Ton	20/10	22,5	7,5	20	D

DS 280:

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Wichte γ_k / γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	Homogenbereich
GOK	+ 0,1	Auffüllungen, Sand, schluffig	18/ 9	27,5	0	10	A
+ 0,1	- 14	Lauenburger Ton	20/10	22,5	10	15	D

DS 309, 310:

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Wichte γ_k / γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ'_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	Homogenbereich
+ 0,6	+ 0,4	Auffüllung	18/ 8	30,0	0	30	A
+ 0,4	- 1,3	Sand	19/11	35,0	0	80	C
- 1,3	- 13	Lauenburger Ton	20/10	22,5	10	15	D

Die vorstehenden Werte gelten für die beschriebenen Bodenschichten im ungestörten Zustand. Bei baustellenbedingten Auflockerungen oder Verwässerungen der Bodenschichten muss mit entsprechenden Verschlechterungen gerechnet werden.

5.3 Ansatz für Mantelreibung und Spitzenwiderstand beim Nachweis der vertikalen Tragfähigkeit

Der Nachweis zum Abtragung von Vertikalkräften kann für die Vorbemessung unter Berücksichtigung der EAU 2012 in Verbindung mit dem Entwurf EAB, Bautechnik 2018, Nr. 9, S. 684 für die nachfolgenden Profile geführt werden.

Abschnitt C (alt B)

DS 283 (Teilabschnitt I):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Widerstand im Bruchzustand	
			$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]
GOK	+ 1,4	Auffüllung	0	0
+ 1,4	- 3,8	Schluff, humos	0	0
- 3,8	- 4,2	Sand ²⁾	25.000	50

DS 284 (Teilabschnitt I):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Widerstand im Bruchzustand	
			$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]
GOK	+ 2,7	Auffüllung ¹⁾	0	5
+ 2,7	- 1,2	Schluff, humos	0	0
- 1,2	- 4,1	Sand ²⁾	11.000	30
- 4,1	- 15,30	Lauenburger Ton	2.000	20

DS 285 (Teilabschnitt II, III):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Widerstand im Bruchzustand	
			$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]
GOK	+ 3,3	Auffüllung ¹⁾	0	5
+ 3,3	- 2,2	Schluff, humos	0	0
- 2,2	- 4,0	Sand ²⁾	9.000	20
- 4,0	- 15	Lauenburger Ton	2.000	20

DS 301 (Teilabschnitt IV):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Widerstand im Bruchzustand	
			$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]
GOK	+ 1,8	Auffüllung ¹⁾	0	10
+ 1,8	- 1,8	Schluff, humos	0	0
- 1,8	- 4,4	Sand ²⁾	9.000	20
- 4,4	- 15	Lauenburger Ton	2.000	20

DS 302 (Teilabschnitt IV, V):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Widerstand im Bruchzustand	
			$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]
GOK	- 0,7	Auffüllung ¹⁾	0	10
- 0,7	- 2,6	Schluff, sandig	0	0
- 2,6	- 4,9	Sand ²⁾	15.000	40
- 4,9	- 18	Lauenburger Ton	2.000	20

DS 303 (Teilabschnitt V, VI):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Widerstand im Bruchzustand	
			$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]
GOK	- 1,8	Auffüllung ¹⁾	0	10
- 1,8	- 2,7	Schluff, sandig	0	0
- 2,7	- 4,5	Sand ²⁾	9.000	20
- 4,5	- 15	Lauenburger Ton	2.000	20

DS 226 (Teilabschnitt VI, VII):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Widerstand im Bruchzustand	
			$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]
+ 0,6	- 2,1	Auffüllung, Schluff	0	0
- 2,1	- 5,0	Sand ²⁾	15.000	40
- 5,0	- 10,0	Lauenburger Ton	2.000	20

DS 304 (Teilabschnitt VII):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Widerstand im Bruchzustand	
			$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]
GOK	- 0,8	Auffüllung ¹⁾	0	10
- 0,8	- 2,2	Schluff, sandig	0	0
- 2,2	- 5,5	Sand ²⁾	15.000	40

DS 305 (Teilabschnitt VII, VIII):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Widerstand im Bruchzustand	
			$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]
GOK	+ 2,6	Auffüllung ¹⁾	0	20
+ 2,6	+ 0,9	Auffüllung Schluff, sandig	0	0
+ 0,9	- 2,6	Schluff, humos	0	0
- 2,6	- 6,2	Sand ²⁾	15.000	40
- 6,2	- 17	Lauenburger Ton	2.000	20

DS 231 (Teilabschnitt VIII):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Widerstand im Bruchzustand	
			$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]
+ 0,5	- 0,3	Auffüllung, Schluff	0	0
- 0,3	- 5,5	Schluff, sandig	0	0
- 5,5	- 6,8	Sand, schluffig ²⁾	15.000	40
- 6,8	- 14,0	Lauenburger Ton	2.000	20

DS 306 (Teilabschnitt VIII):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Widerstand im Bruchzustand	
			$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]
GOK	- 0,4	Auffüllung ¹⁾	0	25
- 0,4	- 5,7	Schluff, humos, sandig	0	0
- 6,2	- 14	Lauenburger Ton	1.500	15

DS 232 (Teilabschnitt VIII):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Widerstand im Bruchzustand	
			$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]
+ 1,0	- 0,8	Auffüllung und Sand, schluffig	0	0
- 0,8	- 6,2	Schluff, humos	0	0
- 6,2	- 6,8	Sand ²⁾	2.000	5
- 6,8	- 15	Lauenburger Ton	2.000	20

DS 307 (Teilabschnitt VIII):

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Widerstand im Bruchzustand	
			$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]
GOK	+ 1,5	Auffüllung ¹⁾	0	20
+ 1,5	- 0,4	Schluff, sandig	0	0
- 2,7	- 2,1	Sand ²⁾	9.000	20
- 2,1	- 18	Lauenburger Ton	2.000	20

Abschnitt D (alt C):

DS 307:

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Widerstand im Bruchzustand	
			$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]
GOK	+ 1,5	Auffüllung ¹⁾	0	20
+ 1,5	- 0,4	Schluff, sandig	0	0
- 2,7	- 2,1	Sand ²⁾	9.000	20
- 2,1	- 18	Lauenburger Ton	2.000	20

DS 279, 281:

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Widerstand im Bruchzustand	
			$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]
+ 3,0	- 0,1	Auffüllungen, Sand und Schluff ¹⁾	0	5
± 0,0	- 2,0	Sand ²⁾	11.000	30
- 2,0	- 14	Lauenburger Ton	2.000	20

DS 280:

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Widerstand im Bruchzustand	
			$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]
+ 3,0	+ 0,1	Auffüllungen, Sand, schluffig ¹⁾	0	5
+ 0,1	- 14	Lauenburger Ton	1.500	15

DS 308:

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Widerstand im Bruchzustand	
			$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]
GOK	- 0,3	Auffüllungen ¹⁾	0	5
± 0,0	- 2,0	Sand ²⁾	15.000	40
- 2,0	- 14	Lauenburger Ton	2.000	20

DS 309, 310:

Tiefe von [mNN]	Tiefe bis [mNN]	Bodenart	Widerstand im Bruchzustand	
			$q_{b,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,k}$ [kN/m ²]
GOK	+ 0,4	Auffüllung ¹⁾	0	20 ³⁾
+ 0,4	- 1,3	Sand ²⁾	20.000	45
- 1,3	- 13	Lauenburger Ton	2.000	20

3) gilt nur für BS 310

1) Für temporäre Belastungszustände bis 24 Stunden können die Mantelreibungswerte in den Auffüllungen berücksichtigt werden.

2) $q_{b,k}$ gültig bei Absetztiefen mind. 1,0 m über bindigen Schichten

Die Mantelreibung auf der Aktivseite darf erst ab dem theoretischen Nullpunkt berücksichtigt werden.

Für die Ermittlung des Spitzenwiderstandes ist die Querschnittsfläche des eingesetzten Spundwandprofils anzusetzen.

Die Mantelreibung $q_{s,k}$ ist für die tatsächliche Abwicklungslänge zu berechnen. Bis zum theoretischen Fußpunkt dürfen die Werte verdoppelt werden, jedoch nur baugrubenseitig. Unterhalb des theoretischen Fußpunktes ist die Mantelreibung nicht zu verdoppeln, jedoch beidseitig ansetzbar.

Die Angaben in der o.a. Tabelle gelten für gerammte Spundwände. Sofern die neuen Spundwände eingerüttelt werden, sind die o.a. Werte für Spitzendruck und Mantelreibung um 25 % zu reduzieren.

5.4 Angaben für den Nachweis der Rückverankerungen

Die Ermittlung der äußeren Pfahlwiderstände für verpresste Mikropfähle kann auf Grundlage der ausgeführten Drucksondierungen unter Berücksichtigung der unteren Tabellenwerte der EA-Pfähle nach Tabelle 5.29 (verpresste Mikropfähle) erfolgen.

Aufgrund der in den Drucksondierungen gemessenen Sondierspitzenwiderstände q_c können für die Vorbemessung des Pfahlmantelwiderstandes $q_{s,k}$ der vorgenannten Verpresspfähle folgende Angaben gemacht werden:

Bodenart	Sondierspitzenwiderstand i. M. q_c [MN/m ²]	Bruchwert der Pfahlmantelreibung verpresster Mikropfahl $q_{s,k}$ [kN/m ²]
Auffüllung	---	0,0
Schluff, humos, z.T. sandig	---	0,0
Sand	5 - 15	175
Lauenburger Ton	2 - 4	75

Durch das ausführende Unternehmen ist eine entsprechende Qualifikation und Erfahrung auf Grundlage von Probelastungen in vergleichbaren Böden nachzuweisen.

Sofern für die Rückverankerung Mikropfähle nach DIN EN 14199 eingesetzt werden, sind vor Ausführung der Bauwerkspfähle Zugprobelastungen an gesondert herzustellen Probepfählen auszuführen, auf deren Grundlage die erforderliche Dimensionierung (Länge, Durchmesser, Verpressstrecke etc.) der Rückverankerung festgelegt wird. Bei der Bemessung, Höhe der Prüflasten und Anzahl der Prüfungen ist die DIN EN 14199 in Verbindung mit der DIN EN 1997-1 und DIN 1054 2010-12 zu beachten.

5.5 Negative Mantelreibung durch Auflast

Negative Mantelreibung ist als eine ständige Einwirkung zu verstehen, die aus der Relativverschiebung zwischen Boden und Pfahl bzw. Spundwand in axialer Richtung stammt, bei der sich der Boden stärker setzt als das Tragglied im Baugrund. Diese Relativverschiebung wird durch Setzungen einer Weichschicht hervorgerufen, die beispielsweise auf zusätzliche Auflasten, Konsolidationsvorgänge oder Grundwasserspiegelschwankungen zurückgeführt werden können.

Dabei hängt sich das Eigengewicht der sich setzenden Bodenschicht sowie der darüber liegenden Schichten an dem Pfahl über Mantelreibung an. Diese Mantelreibung ist entgegengesetzt der Mantelreibung aus Pfahlsetzungen und wird deshalb als negative Mantelreibung bezeichnet. Die Grenze zwischen rechnerischer positiver und negativer Mantelreibung wird als neutraler Punkt bezeichnet. Dieser liegt nach den vorliegenden Erkenntnissen vereinfacht dargestellt überwiegend an der Basis der holozänen Weichschichten.

Nach DIN EN 1997-1 (EC7) und DIN 1054 brauchen die negative Mantelreibungskraft und die veränderlichen Lasten nicht gleichzeitig angesetzt werden, wenn die Verformungen detailliert betrachtet werden und diese für das Bauwerk verträglich sind.

Für die Vorbemessung von Spundwänden können folgende negative Mantelreibungsspannungen berücksichtigt werden:

negative Mantelreibungsspannungen $\tau_{n,k}$		
Auffüllungen	Sand	30 kN/m ²
	Schluff	10 kN/m ²
Schluff, humos, sandig		10 kN/m ²

5.6 Porenwasserüberdrücke durch Auflast

Bei der Umgestaltung der Bereiche vor und hinter der Hochwasserschuttbauwerke wird ein zusätzlicher Porenwasserüberdruck erzeugt, sofern hierdurch höhere Belastungen entstehen, als für die der anstehende Baugrund bereits konsolidiert ist.

Die Höhe des Porenwasserüberdruckes kann aus der Differenzhöhe des vorhandenen zur geplanten Geländeoberkante unter Berücksichtigung der Wichte der Baustoffe ermittelt werden. Der ermittelte Porenwasserüberdruck ist zum Zeitpunkt $t = 0$ ohne Abminderung als horizontaler Zusatzdruck auf die Spundwand anzusetzen.

Bei einer seitlich begrenzten Lastaufbringung werden die entstehenden Porenwasserüberdrücke über die Tiefe abnehmen.

Die Spundwandbemessung kann bei der Berücksichtigung von Porenwasserüberdrücken für die Bemessungssituation T geführt werden, da sich diese zusätzlichen Spannungen zeitabhängig abbauen werden.

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass infolge der Geländeauffüllungen Setzungen auftreten werden.

6 Zusammenfassung

Das geplante Vorhaben umfasst die Neuberechnung der Hochwasserschutzbauwerke im Bereich des Gebäudes „Haven Hööv“ im östlichen Vegesacker Hafen, die entweder erhöht oder neu gebaut werden sollen.

Unter örtlich vorhandenen Oberflächenbefestigungen besteht der Baugrund aus bis zu rd. 8 m mächtigen Auffüllungen in stark unterschiedlicher Zusammensetzung. Überwiegend sind schluffige Sande mit Bauschuttbeimengungen und Recyclingmaterialien sowie eingelagerte Schluffschichten zu erwarten. Darunter folgen allgemein humose und sandige Weichschichten in stark unterschiedlicher Mächtigkeit, die von den Terrassensanden der Weser und Lauenburger Schichten unterlagert werden.

Weitere Einzelheiten sowie die Ergebnisse der Baugrunduntersuchungen und Angaben zu den charakteristischen Kennwerten sind im Bericht gegeben.



Dr.-Ing. von Bloh
Geschäftsführer



i. A.
Bau-Ing. Jakob Elsler B. Sc.

Verteiler und Anlagen ...



Verteiler:

Bauherr: Bremischer Deichverband am rechten Weserufer
Am Lehester Deich 149
28357 Bremen 1 x + digital

Objektplanung- und
Tragwerksplanung: Inros Lackner SE
Linzer Str. 3
28359 Bremen 1 x + digital

7 Anlagenverzeichnis

I N H A L T	Anlage Nr.	
	von	bis
1. Lageplan		1
Lageplan der Sondieransatzpunkte	2.0	
2. Felduntersuchungen		
2.1 Bodenprofile aus Sondierbohrungen und Drucksondierungen	2.1.1	2.1.9
2.2 Drucksondierungsdiagramme	2.2.1	2.2.10
3. Laboruntersuchungen		
3.2 Bodenmechanische Kennziffern	3.2	
3. Gutachten		
4.1 Homogenbereiche	4.1.1	4.1.4
4.2 Übersicht Aufgabenstellung und Baugrundaufschlüsse je Teilbereich	4.2	