

GRUNDBAUINGENIEURE STEINFELD UND PARTNER GbR

BERATENDE INGENIEURE VBI
ERDBAULABORATORIUM HAMBURG

Hechthausen-Klint Deichneubau Ostebogen

1. Bericht

Baugrundbeurteilung und grundbauliche Beratung,
Ermittlung der Standsicherheit des geplanten Deiches
sowie Beurteilung der Deichbaufähigkeit der Böden
des vorhandenen Deiches und möglicher benachbarter
Kleientnahmeflächen

Hamburg, den 31. Juli 2009 - Auftr.-Nr. 016789

REIMERSBRÜCKE 5, D-20457 HAMBURG · TELEFON (040) 38 91 39-0 · TELEFAX (040) 380 91 70



Ostedeichverband
Oestinger Weg 40
21745 Hemmoor

ERDBAULABORATORIUM HAMBURG

GRÜNDUNGEN · BODENMECHANIK · WASSER-
SENKUNGEN · DAMM- UND TALSPERRENBAU
TUNNELBAU · HAFENBAU · DEPONIETECHNIK

REIMERSBRÜCKE 5 · 20457 HAMBURG
TEL. 040 / 38 91 39 - 0 · FAX 040 / 380 91 70
E-MAIL: HH@STEINFELD-UND-PARTNER.DE
INTERNET: WWW.STEINFELD-UND-PARTNER.DE

(BITTE IMMER ANGEBEN)

016789

31. Juli 2009
- Kol/Na -

Deichneubau Ostebogen bei Hechthausen-Klint
hier: Baugrundbeurteilung und grundbauliche Beratung,
Ermittlung der Standsicherheit des geplanten Deiches
sowie Beurteilung der Deichbaufähigkeit der Böden
des vorhandenen Deiches und möglicher benachbarter
Kleientnahmeflächen

Ihr Auftrag vom 25.03.2009

Anlagen: 016789/1 bis 11.2

1. Bericht

1. Vorgang

Südlich der Ortschaft Hechthausen und östlich der Ortschaft Klint ist auf einer Länge von etwa 1,9 km der Neubau des Ostedeiches in einer Trasse binnenseitig neben dem vorhandenen Deich geplant.

Wir wurden beauftragt, für den Deichneubau die Baugrundbeurteilung mit grundbaulichen Empfehlungen einschließlich Standsicherheitsuntersuchungen auszuarbeiten. Ferner soll die Deichbaufähigkeit der Böden des vorhandenen Deiches und möglicher benachbarter Kleientnahmeflächen beurteilt werden.



2. Unterlagen

Für die Bearbeitung stehen uns die nachfolgend genannten Unterlagen zur Verfügung.

Vom Ingenieurbüro Klaus Galla und Partner, Horneburg:

- 2.1 Deichneubau Ostebogen bei Hechthausen-Klint, Deichverlauf, Übersichtslageplan und Regelquerschnitt, Zeichnungsnummer 50.01/08.3.15, Blatt 1, M 1:2000, aufgestellt am 17.03.2009;
Eingang am 23.03.2009
- 2.2 Zu 2.1 zugehöriger Plan mit Aufmaßpunkten und Höhenangaben;
Eingang am 15.07.2009

Vom Bohrunternehmen Dipl.-Ing. H. Eichhorn, Neudorf-Bornstein:

- 2.3 Schichtenverzeichnisse und 217 gestört entnommene Bodenproben von 34 Kleinbohrungen (BS 1 bis BS 34) nach DIN EN ISO 22475-1 (bisher DIN 4021) bis in max. rd. 18,0 m Tiefe unter Bohransatzpunkt, Kleinbohrungen ausgeführt im Zeitraum vom 12.05. bis zum 19.05.2009;
Eingang am 18.05. und 25.05.2009

3. Baugelände und geplanter Deich

Das Baugelände für den geplanten Deichneubau am linken Osteufer liegt südlich der Ortschaft Hechthausen und östlich der Ortschaft Klint (s. Übersichtsplan in Anlage 016789/1).

Nach den Angaben in Unterlage 2.2 liegt das Gelände in der geplanten Deichachse auf Höhen zwischen rd. NN -0,6 m (BS 8) und rd. NN +0,6 m (BS 2). Im westlichen und nördlichen Baubereich wurde im Baubereich des geplanten Deiches zudem eine Vielzahl von senkrecht zur geplanten Deichachse verlaufenden Gräben aufgemessen (Unterlagen 2.1 und 2.2). Ferner verläuft die Entwässerungsmulde des vorhandenen Deiches bereichsweise im geplanten Baubereich.

Die Krone des vorhandenen Deiches liegt im Bereich parallel zur geplanten Deichachse auf Höhen zwischen rd. NN +3,5 m (BS 16) und rd. NN +3,9 m (BS 18).

Die Länge des geplanten Deichneubaues beträgt gemäß Unterlage 2.1 etwa 1.893 m. Der Anfang und das Ende der Neubautrasse gehen jeweils in den vorhandenen Deichquerschnitt über (s. Lageplan in Anlage 016789/1). Die Kronenhöhe des Deiches soll nach Abschluss der zu erwar-



tenden Setzungen angabegemäß auf rd. NN +3,9 m liegen. Die Deichkrone ist rd. 3 m breit vorgesehen. Die Deichböschungen sollen gemäß Unterlage 2.1 binnenseitig unter 1:3 und außenseitig (osteseitig) unter 1:4 angelegt werden. Entlang des binnenseitigen Böschungsfußes sollen der Deichverteidigungsweg und die Entwässerungsmulde angelegt werden. Die OK Fahrbahn des Deichverteidigungsweges ist auf einer Höhe von rd. NN +0,3 m geplant.

Der Deichkörper soll angabegemäß aus einem Sandkörper mit einer rd. 1,0 m dicken Deckschicht aus Klei hergestellt werden.

4. Baugrund und Grundwasser

4.1 Baugrundaufschluss

Zur Erkundung des Baugrundes sowie zur Beurteilung der Deichbaufähigkeit der Böden des vorhandenen Deiches und möglicher benachbarter Kleientnahmeflächen wurden vom Bohrunternehmen Dipl.-Ing. H. Eichhorn, Neudorf-Bornstein, insgesamt 34 Kleinbohrungen nach DIN EN ISO 22475-1 (bisher DIN 4021) in der geplanten Deichachse (BS 1 bis BS 15), von der vorhandenen Deichkrone (BS 16 bis BS 18) aus und auf benachbarten Flächen (BS 19 bis BS 34) im Zeitraum vom 12.05. bis zum 19.05.2009 bis in Tiefen von max. rd. 18,0 m (BS 8) unter Bohransatzpunkt ausgeführt (Unterlage 2.3). Die Lage der Bohransatzpunkte kann dem Lageplan auf der Anlage 016789/1 entnommen werden.

Der Baugrundaufbau ist nach unserer manuellen und visuellen Beurteilung der uns vom Bohrunternehmer angelieferten gestört entnommenen Bodenproben sowie nach den Angaben in den Schichtenverzeichnissen (Unterlage 2.3) auf den Anlagen 016789/2 bis 6 in Form von höhengerecht aufgetragenen Bohrprofilen dargestellt.

4.2 Baugrundaufbau in der geplanten Deichachse (BS 1 bis BS 15)

Nach den Ergebnissen der Kleinbohrungen BS 1 bis BS 15 stehen in der geplanten Deichachse (s. Anlage 016789/1) unter Bohransatzpunkt organische Weichschichten aus Torf und Klei in unterschiedlichen Schichtdicken und Gesamtmächtigkeiten bis in Tiefen zwischen rd. 5,9 m (BS 2) und mehr als rd. 18,0 m (BS 8) unter Ansatzpunkt an, wobei die organischen Weichschichten in den Kleinbohrungen BS 5, BS 7 bis BS 9, BS 12 und



BS 15 bis zur Bohrendtiefe zwischen rd. 6,0 m (BS 6) und rd. 18,0 m (BS 8) nicht durchteuft wurden. In den organischen Weichschichten sind Sandschichten z. T. als dünne Streifen und z. T. in kompakten Schichten mit Gesamtmächtigkeiten von bis zu rd. 5,9 m (BS 7) in unterschiedlichen Tiefenlagen eingelagert. In der Kleinbohrung BS 6 wurde die kompakte Sandeinlagerung bis zur Bohrendtiefe von rd. 6,0 m unter Bohransatzpunkt nicht durchteuft.

In den übrigen Kleinbohrungen (BS 1 bis BS 4, BS 10, BS 11, BS 13 und BS 14) folgen unter der Basis der organischen Weichschichten Sande z. T. mit Kleistreifen, die bis zur Bohrendtiefe zwischen rd. 10,0 m (BS 10, BS 11) und rd. 17,0 m (BS 13) unter Ansatzpunkt nicht durchteuft wurden.

Der Klei steht unter Ansatzpunkt zunächst angewittert bzw. verwittert in weich bis steifer und steifer Konsistenz und zur Tiefe überwiegend in weicher mit Bereichen breiig bis weicher und weich bis steifer Konsistenz an. Der Torf weist unterschiedliche Zersetzungsgrade auf.

Nach den Angaben in den Schichtenverzeichnissen des Bohrunternehmens (Unterlage 2.2) stehen die eingelagerten Sandschichten und die Sande unter der Basis der organischen Weichschichten überwiegend mitteldicht und z. T. locker bis mitteldicht und mitteldicht bis dicht gelagert an.

4.3 Baugrundaufbau in der vorhandenen Deichachse (BS 16 bis BS 18)

Nach den Ergebnissen der von der Krone des vorhandenen Deiches ausgeführten Kleinbohrungen BS 16 bis BS 18 besteht der vorhandene Deichkörper aus aufgefülltem Klei. Die Kleiauffüllungen wurden bis in Tiefen zwischen rd. 2,4 m (BS 17) und rd. 2,9 m (BS 18) erkundet, wobei der Übergang zwischen den aufgefüllten und den darunter anstehenden gewachsenen Kleischichten z. T. nicht eindeutig festgestellt werden konnte.

Die gewachsenen Kleischichten unterhalb der aufgefüllten Kleischichten wurden bis zur Bohrendtiefe von jeweils rd. 6,0 m unter Ansatzpunkt nicht durchteuft.



Der aufgefüllte Klei steht in weich bis steifer und steifer Konsistenz und der gewachsene Klei in weicher und weich bis steifer Konsistenz an. Zur Tiefe wurden im gewachsenen Klei eingelagerte Feinsandstreifen erkundet.

4.4 Baugrundaufbau in den benachbarten potentiellen Kleientnahmeflächen (BS 19 bis BS 34)

Nach den Ergebnissen der Kleinbohrungen BS 19 bis BS 34 stehen in den benachbarten Flächen unter Bohransatzpunkt organische Weichschichten aus Klei und Torf an, die in den Kleinbohrungen BS 20, BS 21 und BS 27 bis BS 34 bis zur Bohrendtiefe von maximal rd. 6,0 m unter Ansatzpunkt nicht durchteuft wurden. In den Kleischichten sind z. T. Feinsandschichten eingelagert.

In den übrigen Kleinbohrungen (BS 19 und BS 22 bis BS 26) werden die organischen Weichschichten unterhalb einer Tiefe zwischen rd. 2,1 m (BS 23) und rd. 5,6 m (BS 26) von Sanden bzw. Geschiebemergel (BS 25) unterlagert. Die Sande bzw. der Geschiebemergel wurden bis zur Bohrendtiefe von maximal rd. 6,0 m unter Bohransatzpunkt nicht durchteuft.

Der Klei steht zur GOK hin angewittert in weich bis steifer und steifer Konsistenz und darunter überwiegend in weicher und z. T. in breiig bis weicher (BS 19) Konsistenz an. Der Geschiebemergel (BS 25) wurde in weicher bis steifer Konsistenz erkundet.

4.5 In situ-Scherfestigkeit der anstehenden organischen Weichschichten

Zur Bestimmung der undränierten in situ-Scherfestigkeit c_u der anstehenden holozänen Weichschichten wurden von uns am 15. und 16.07.2009 im Bereich der Bohransatzpunkte der Kleinbohrungen BS 5, BS 8 und BS 10 jeweils am binnen- und am außenseitigen Böschungsfuß des geplanten Deiches je eine Feldflügelsondierung (FS 1 bis FS 6) nach DIN 4094-4 ausgeführt. Die ermittelten Scherfestigkeiten c_u sind neben dem jeweiligen Bohrprofil der o. g. Kleinbohrungen in den Anlagen 016789/2 und 3 über die Sondertiefe aufgetragen. Die Versuchswerte wurden gemäß den Angaben nach BJERRUM und unseren Erfahrungen im Klei auf etwa 2/3 des Versuchswertes zu Ansatzwerten abgemindert,



sodass sich daraus die charakteristischen Werte ergeben. Im Torf wurde generell auf etwa 50 % des Versuchswertes abgemindert.

Die charakteristischen Ansatzwerte $c_{u,k}$ sind ebenfalls in den Sondierdiagrammen auf den v. g. Anlagen dargestellt.

Die unter Berücksichtigung des nicht vorbelasteten Baugrundes in der geplanten Deichtrasse in erdstatischen Berechnungen für die einzelnen Bodenarten anzusetzenden charakteristischen Werte der undrännierten Scherfestigkeit $c_{u,k}$ sind in Abschn. 5.2, Tabelle 2, angegeben.

4.6 Wasserstände

Das Grundwasser steht gespannt in den Sanden unter der Basis der organischen Weichschichten bzw. in den in den organischen Weichschichten eingelagerten Sanden an.

Die beim Baugrundaufschluss angetroffenen Wasserstände sind gemäß den Angaben in den Schichtenverzeichnissen (Unterlage 2.2) in den Anlagen 016789/2 bis 6 links neben den Bohrprofilen eingetragen. Der verfahrensbedingt nicht ausgespiegelte Wasserstand wurde danach in den in der geplanten Deichachse ausgeführten Kleinbohrungen BS 1 bis BS 15 nach Bohrende in Tiefen zwischen rd. 0,5 m (BS 9) und rd. 1,5 m (BS 10) unter Ansatzpunkt gemessen. Je nach örtlichen Vorflutverhältnissen ist ein Wasseranstieg bis nahe zur Geländeoberkante (GOK) und auch darüber nicht auszuschließen.

Über die Tidewasserstände am Ostepegel Hechthausen liegen uns folgende Angaben vor:

MTnw	NN -0,49 m
MThw	NN +1,37 m.

Das Ostesperrwerk wird angabegemäß bei Wasserständen von etwa NN +2,4 m geschlossen. Der Bemessungswasserstand ist angabegemäß in einer Höhe von NN +2,92 m anzusetzen.



5. Bodenkennwerte und Bodenklassen

5.1 Versuchswerte

5.1.1 Wassergehalt

Zur allgemeinen und vergleichenden Beurteilung der organischen Weichschichten sowie der Kleiauffüllungen aus dem vorhandenen Deichkörper wurde in unserem Labor an ausgewählten Bodenproben der Wassergehalt nach DIN 18121, Teil 1, bestimmt. Die Einzelwerte der ermittelten Wassergehalte sind in der Anlage 016789/2 bis 6 rechts neben den Bohrprofilen eingetragen. Es ergeben sich folgende Grenz- und Mittelwerte:

Tabelle 1: Wassergehalte

Bodenart	Versuchs- anzahl	Wassergehalt w (%)		
		min.	mittl.	max.
Klei, angewittert/verwittert	9	33,1	47,3	59,0
Klei, aufgefüllt (Deichkörper)	3	30,4	36,3	40,4
Klei, (schwach) organisch	18	62,4	83,7	106
Klei, stark organisch	6	110	143	199
Torf, kleiig	3	207	299	376
Torf, schwach zersetzt	6	384	600	776
Torf, zersetzt	2	239	-	259

5.1.2 Glühverlust

Zur Ermittlung organischer Bestandteile wurde an 10 ausgewählten Bodenproben aus dem Klei aus den möglichen benachbarten Kleientnahmeflächen (BS 19 bis BS 34) der Glühverlust nach DIN 18128 bestimmt. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in den Anlage 016789/5 und 6 links neben den Bohrprofilen, den Probenahmetiefen zugeordnet, eingetragen. Die ermittelten Glühverluste liegen zwischen $V_{gl} = 6,9 \%$ und $V_{gl} = 26,0 \%$. Danach sind die untersuchten Bodenproben aus dem Klei überwiegend organisch bzw. stark organisch.



5.1.3 Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung des anstehenden Kleis wurde an 6 ausgewählten Bodenproben aus dem vorhandenen Deichkörper (BS 16 bis BS 18) und aus den möglichen benachbarten Kleientnahmeflächen (BS 19 bis BS 34) mittels Schlämmanalyse bzw. kombinierter Sieb- und Schlämmanalyse nach DIN 18123 bestimmt. Die Ergebnisse sind auf den Anlagen 016789/7 und 8 in Form von Körnungslinien aufgetragen. Danach handelt es sich bei den zwei Bodenproben aus dem vorhandenen Deichkörper um Schluffe mit Tonanteilen von etwa 22 Gew.-% bzw. 26 Gew.-% und Sandanteilen zwischen von jeweils etwa 12 Gew.-% (Anlage 016789/7).

Bei den vier Bodenproben aus den möglichen benachbarten Kleientnahmeflächen (Anlage 016789/8) handelt es sich zum einen (BS 28) um einen stark sandigen Schluff (Sandanteil etwa 43 Gew.-%) und zum anderen (BS 29 bis BS 31) um stark schluffige Tone ohne Feinsandanteile (BS 29, BS 30) bzw. um stark tonige Schluffe mit einem Feinsandanteil von etwa 11 Gew.-% (BS 31).

5.2 Ansatzwerte (cal-Werte bzw. charakteristische Werte) und Bodenklassen

Nach unserer visuellen und manuellen Beurteilung der gemäß Unterlage 2.3 angelieferten Bodenproben, den ermittelten Bodenkenngrößen gemäß Abschn. 5.1 sowie nach uns vorliegenden Versuchsergebnissen an vergleichbaren Bodenarten sind in erdstatischen Berechnungen die in Tabelle 4 angegebenen Bodenkennwerte als charakteristische Werte anzusetzen. In Tabelle 4 sind ferner die den einzelnen Bodenarten zuzuordnenden Bodenklassen nach DIN 18300 angegeben.



Tabelle 2: Charakteristische Bodenkennwerte und Bodenklassen

Bodenart	Wichte γ/γ' (kN/m ³)	Scherfestigkeit			Steifemodul $E_{s,k}$ (MN/m ²)	Bodenklasse nach DIN 18300
		φ'_k (°)	c'_k (kN/m ²)	$c_{u,k}$ (kN/m ²)		
Klei, $w \leq 60\%$	15/5	17,5	10	25 - 30	1,0 - 1,5	2/4/5
Klei, $60\% < w \leq 100\%$	14/4	17,5	5	15 - 25	0,8 - 1,0	2/4/5
Klei, $w > 100\%$	13/3	15	5	7,5 - 15	0,6 - 0,8	2/4
Klei, feinsandstreifig	15/5	22,5	5	-	1,5 - 3,0	2/3/4
Torf, $w \leq 300\%$	11/1	15	5	10 - 20	0,5	2/3
Torf, $w > 300\%$	10/0	15	5	7,5 - 20	0,3 - 0,5	2/3
Sand, locker bis mitteldicht gelagert	18/10	32,5	0	-	30 - 40	3
Sand, mindestens mitteldicht gelagert	19/11	35	0	-	≥ 50	3
Geschiebemergel, weich bis steife Konsistenz	22/12	30	7,5	-	30	4/5/6 ¹⁾

¹⁾ Bei größeren Steinen (Blöcken) auch Bodenklasse 7.

6. Beurteilung der erkundeten Böden hinsichtlich Verwendung als Deichbaumaterial

6.1 Deichbaufähigkeit der Böden des vorhandenen Deiches

Nach unserer Beurteilung der uns gelieferten Bodenproben und den ermittelten Bodenkenngrößen gemäß Abschn. 5.1 ist der aufgefüllte Klei des vorhandenen Deiches, der in Gesamtschichtdicken zwischen 2,4 m (BS 17) und rd. 2,9 m (BS 18) erkundet wurde, generell für eine Verwendung als Deichbaumaterial geeignet.

Der aufgefüllte Klei des Altdeichkörpers kann unmittelbar unterhalb der GOK ausgetrocknet sein und Wassergehalte von $w \leq 30\%$ aufweisen. Beim Wiedereinbau von ausgehobenem Klei ist sicherzustellen, dass Bodenklumpen entsprechend zerkleinert werden und eine homogene Dichtungsdecke erreicht wird. Generell ist vor der Kleientnahme die Grasnarbe und der durchwurzelte Oberboden auf einer Dicke von etwa $d = 20\text{ cm} - 30\text{ cm}$ zu entfernen.



Die unterhalb des Deiches anstehenden gewachsenen Kleischichten weisen Wassergehalte von etwa $w = 60\%$ bis 100% auf. Ferner ist in diesen Schichten von einem erhöhten Glühverlust bis etwa $V_{gl} = 15\%$ auszugehen. Hinsichtlich des geeigneten Einbauwassergehaltes von vorzugsweise $w = 30\%$ bis 40% werden daher zusätzliche Maßnahmen zur Reduzierung des vorhandenen Wassergehaltes dieser bis in Tiefen von rd. 4,0 m (BS 16) und rd. 5,2 m (BS 17) unter Deichkrone erkundeten Kleischichten erforderlich, z. B. Abtrocknung durch Zwischenlagerung.

Bei einem Ausgangswassergehalt von bis zu 100% ist eine Abtrocknung auf einen max. Wassergehalt von $w \leq 60\%$ kaum zu erreichen.

6.2 Deichbaufähigkeit der Böden in den benachbarten Flächen

Die auf den Nachbargrundstücken in den Kleinbohrungen BS 19 bis BS 25, BS 28, BS 30 und BS 33 erkundeten Böden sind mit Ausnahme der oberflächennahen angewitterten Kleischicht, die generell in Schichtdicken von $d \leq 1,0$ m angetroffen wurde, nicht als Deichbaumaterial geeignet.

In den übrigen Kleinbohrungen BS 26, BS 27, BS 29, BS 31, BS 32 und BS 34 wurden generell deichbaufähige Schichten bis in Tiefen zwischen etwa 1,0 m und 2,0 m unter Bohransatzpunkt erkundet. Hierbei ist zwischen den gut geeigneten bis in Tiefen zwischen rd. 0,5 m (BS 26) und rd. 1,3 m (BS 29) unter Bohransatzpunkt anstehenden angewitterten Kleischichten mit Wassergehalten zwischen etwa $w = 40\%$ und $w = 60\%$ und den darunter angetroffenen nur bedingt für den Deichbau geeigneten Kleischichten mit Wassergehalten von etwa $60\% < w \leq 110\%$ und ermittelten Glühverlusten zwischen $V_{gl} = 6,9\%$ (BS 32) und rd. $V_{gl} = 10,7\%$ (BS 31) zu unterscheiden. Für die unterhalb des angewitterten Kleis angetroffenen Schichten werden daher ebenfalls zusätzliche Maßnahmen zur Reduzierung des vorhandenen Wassergehaltes, z. B. Abtrocknung durch Zwischenlagerung, erforderlich.



7. Grundbauliche Empfehlungen

7.1 Allgemeines

Nach dem vorliegenden Baugrundaufschluss stehen in der geplanten Deichachse stark inhomogene organische Weichschichten aus Torf und Klei mit unterschiedlichen Gesamtmächtigkeiten an, die von Sanden unterlagert werden.

Der an der GOK überwiegend angetroffene angewitterte und z. T. durchwuzelte Klei stellt bis zu einem gewissen Grad eine zugfeste Oberfläche dar, die deshalb nicht beschädigt werden sollte. Für den Deichbau ist im geplanten Trassenbereich unmittelbar vor den Schütтарbeiten der Bewuchs kurz abzumähen und das Mähgut zu entfernen. Vorhandene Gräben und Entwässerungsmulden sind zu entschlammern und unmittelbar vor der Deicherstellung wasserfrei zu halten.

Abhängig von der Zusammensetzung der organischen Weichschichten ist die Deichbaumaßnahme im Hinblick auf die erforderlichen Maßnahmen zur ausreichend standsicheren Gründung in die folgenden 3 Bereiche zu unterteilen:

- Bereich 1 von ca. Station 0+000 bis ca. Station 0+350 (BS 1 bis BS 3)
- Bereich 2 von ca. Station 0+350 bis ca. Station 1+200 (BS 4 bis BS 9)
- Bereich 3 von ca. Station 1+200 bis Station 1+893 (BS 10 bis BS 15)

Im Folgenden wird auf die einzelnen Deichbaumaßnahmen eingegangen.

7.2 Bereiche 1 und 3 (ca. Stat. 0+000 bis ca. Stat. 0+350 und ca. Stat. 1+200 bis Stat. 1+893)

In den Bereichen 1 und 3 der Deichbaumaßnahme bestehen die erkundeten organischen Weichschichten unterhalb der Deckschichten aus verwittertem Klei überwiegend aus Klei (siehe Bohrprofilaufragungen der Kleinbohrungen BS 1 bis BS 3 und BS 10 bis BS 15 auf den Anlagen 016789/2 und 3). Im Klei sind z. T. (BS 3, BS 10) zur Tiefe geringmächtige Torfschichten ($d \leq 0,8$ m) mit Gesamtschichtdicken von $d \leq 1,3$ m (BS 10) eingelagert.



Bei den erkundeten Baugrundverhältnissen kann der Deich rechnerisch in den Bereichen 1 und 3 in einer Schüttstufe gemäß Regelprofil ausreichend standsicher hergestellt werden (s. a. Abschn. 7.4). Zur Vergleichmäßigung der zu erwartenden Setzungen und zur Erhöhung der Geländebruchsicherheit empfehlen wir, wie im Bereich 2, im Deichlager ein 2-lagiges Armierungsgewebe mit einer zulässigen Bemessungszugkraft von zul. $T \geq 100 \text{ kN/m}$ (z. B. Stablenka 200 oder vergleichbar) einzubauen (s. Abschn. 7.3).

Wegen der im Bereich 2 erforderlichen Deichherstellung in zwei Schüttstufen (s. Abschn. 7.3) empfehlen wir, den Deich auch in den Bereichen 1 und 3 zunächst nur bis etwa NN +3,0 m, mindestens jedoch bis rd. 1,0 m oberhalb der 2. Lage des Armierungsgewebes, herzustellen. Unabhängig von der rechnerischen Standsicherheit (s. Abschn. 7.4) empfehlen wir ferner, die 1. Schüttstufe im Schutz des bestehenden Deiches herzustellen. Der Rückbau des bestehenden Deiches sollte erst nach einer Liegezeit der 1. Schüttlage von etwa 1 Jahr erfolgen. Anschließend kann der Deich gemäß Regelprofil einschließlich einer Setzungsüberhöhung (s. Abschn. 7.5 und 8.2) aufgehört werden.

7.3 Bereich 2 von ca. Station 0+350 bis ca. Station 1+200

Im Bereich 2 der Deichbaumaßnahme bestehen die organischen Weichschichten nach den Kleinbohrungen BS 4 bis BS 9 unterhalb der Deckschicht aus verwittertem Klei überwiegend aus Torf und stark organischem Klei. Die bis zu den eingelagerten Sandschichten in Gesamtdicken von bis zu rd. 5,6 m (BS 5) erbohrten Torf- und stark organischen Kleischichten beeinflussen aufgrund ihrer geringen Scherfestigkeit maßgebend die Deichstandsicherheit.

Für eine ausreichend standsichere Gründung des geplanten Deiches wird die Bewehrung des Deichlagers durch den Einbau eines 2-lagigen Armierungsgewebes mit einer zulässigen Bemessungszugkraft von zul. $T \geq 100 \text{ kN/m}$ (z. B. Stablenka 200 oder vergleichbar) erforderlich. Die 1. Lage des Armierungsgewebes ist in der Deichaufstandsebene in Höhe der vorhandenen GOK auszulegen. Die 2. Lage des Armierungsgewebes ergibt sich durch Umschlagen der 1. Lage nach erfolgtem Einbau von Sand in einer Dicke von rd. $d = 1,0 \text{ m}$. Der kraftschlüssige Verbund der Armierungsgewebe ist durch eine Überlappung/Verankerung



senkrecht zur Deichachse von jeweils $l_0 \geq 6,0$ m sicherzustellen. In Längsrichtung des Deiches ist eine Überlappung von $l_0 \geq 0,5$ m vorzusehen. Die Bewehrung des Deichlagers dient neben der Erhöhung der Geländebruchsicherheit auch zur Vergleichmäßigung der zu erwartenden Setzungen.

Ferner ist zur Erzielung einer ausreichenden Standsicherheit für die maßgebenden Lastfälle Hochwasser und Sunk nach Hochwasser ein Scherfestigkeitszuwachs der organischen Weichschichten infolge der Konsolidierung abzuwarten. Hierfür ist das Deichprofil zunächst bis etwa NN +3,0 m herzustellen, mindestens jedoch bis rd. 1,0 m oberhalb der 2. Lage des Armierungsgewebes.

Der Nachweis der jeweils ausreichenden Standsicherheit ist parallel über baubegleitende Setzungsmessungen und Flügelsondierungen (zur Ermittlung des Scherfestigkeitszuwachses) zu führen (s. a. Abs. 8.2.1 und 8.2.2). Unter Berücksichtigung eines vertikalen Konsolidierungsbeiwertes für die organischen Weichschichten von etwa $c_v = 1$ m²/Jahr ist für den erforderlichen Scherfestigkeitszuwachs eine Mindestliegezeit von etwa einem Jahr einzuplanen. Anschließend kann der Deich ohne eine weitere Liegezeit gemäß Regelprofil unter Berücksichtigung des dann noch zu erwartenden Überhöhungsmaßes (s. Abschn. 7.5) hergestellt werden.

Der Rückbau des bestehenden Deiches kann erst nach der v. g. Liegezeit bzw. nach dem Nachweis der ausreichenden Scherfestigkeit von $c_u \geq 15$ kN/m² für die anstehenden organischen Weichböden aus Klei und Torf erfolgen.

7.4 Deichstandsicherheit

Der Nachweis der Deichstandsicherheit (Sicherheit gegen Geländebruch) wird über die geplante Deichbautrasse verteilt in drei Berechnungsprofilen mit jeweils ungünstigen Baugrundverhältnissen unter Ansatz der undränierten Scherfestigkeit c_u gemäß Abschn. 5.2, Tabelle 2, für die maßgebenden Lastfälle "Hochwasser" und "Sunk nach Hochwasser" geführt. Der Deichgeometrie liegt das Regelprofil gemäß Unterlage 2.1 zugrunde.



Die Berechnungsergebnisse sind in der Tabelle 3 angegeben und zusammen mit den Berechnungsgrundlagen auf den Anlagen 016789/9.1 bis 11.2 dargestellt.

Tabelle 3: Ergebnisse der Geländebruchberechnungen

Bereich	Berechnungsprofil in ca. Station	maßgebendes Bohrprofil	Lastfall	Ausnutzungs- grad μ	Anlage
1	0+330	BS 3	Hochwasser	0,84	016789/9.1
			Sunk	0,77	016789/9.2
2	0+580	BS 5	Hochwasser	1,11 ¹⁾	016789/10.1
			Hochwasser	0,96 ²⁾	016789/10.2
			Sunk	0,98 ²⁾	016789/10.3
3	1+220	BS 10	Hochwasser	0,77	016789/11.1
			Sunk	0,70	016789/11.2

¹⁾ ohne Liegezeit

²⁾ nach Liegezeit bzw. nachgewiesener ausreichender Scherfestigkeit gemäß Abschn. 7.3

Danach ist in den Bereichen 1 und 3 der Deichbaumaßnahme die rechnerisch erforderliche Geländebruchsicherheit für die Lastfälle "Hochwasser" und "Sunk nach Hochwasser" bei der aus konstruktiven Gründen empfohlenen Bewehrung des Deichlagers mit einem 2-lagig eingebauten Armierungsgewebe (s. Abschn. 7.2) gewährleistet. Für das Einhalten der rechnerisch erforderlichen Geländebruchsicherheit ist im Bereich 2 als weitere Voraussetzung eine mit Feldflügelsondierungen nachzuweisende ausreichende Scherfestigkeit der anstehenden organischen Weichschichten aus Klei und Torf einzuhalten (s. Abschn. 7.3).

7.5 Setzungen des Deiches

Das Setzungsverhalten des Deiches wird von der Zusammensetzung und der Dicke der organischen Weichschichten bestimmt. Bei der ausgewiesenen z. T. großen Mächtigkeit dieser Schichten werden die Primärsetzungen erst nach Jahrzehnten abgeklungen sein.

Die Gesamtsetzung in den organischen Weichschichten kann erfahrungsgemäß etwa wie folgt unterteilt werden:



Sofortsetzung	10 % bis 20 %
Primärsetzung (Konsolidierung $U = 100 \%$)	40 % bis 60 %
Sekundärsetzung	30 % bis 40 %.

Der Großteil der Sofortsetzung tritt mit der Lastaufbringung ein.

Die infolge der Auflast des neuen Deiches zu erwartenden Setzungen werden im Folgenden unter Berücksichtigung der für das Einhalten der geplanten Deichhöhe von NN +3,9 m erforderlichen Überhöhungen und bei Ansatz der Steifemoduli für die einzelnen Bodenschichten gemäß Abschn. 5.2, Tabelle 2, in verschiedenen Stationen der geplante Deichbautrasse abgeschätzt. Danach sind in den Bereichen 1 und 3 infolge der Auflast des neuen Deiches jeweils Gesamtsetzungen zwischen rd. 40 cm (BS 2, BS 13) und rd. 80 cm (BS 3, BS 10, BS 12) und im Bereich 2 zwischen rd. 80 cm (BS 7) und rd. 160 cm (BS 5) zu erwarten. Die großen Setzungen im Bereich 2 der Deichbaumaßnahme sind überwiegend auf die in diesem Bereich in großen Mächtigkeiten anstehenden stark kompressiblen Torfschichten zurückzuführen. Die in allen Bereichen zu erwartenden unterschiedlich großen Setzungen ergeben sich aus den unterschiedlichen Gesamtdicken und Zusammensetzungen der organischen Weichschichten.

Die Setzungen sind durch baubegleitende Setzungsmessungen (s. Abschn. 8.2.1) zu überprüfen. Je nach Setzungsverlauf kann lokal ggf. eine Unterbrechung der Schütтарbeiten erforderlich werden. Vor dem Rückbau des bestehenden Deiches nach entsprechender Liegezeit des neuen Deiches (s. Abschn. 7.2 und 7.3) ist anhand der Ergebnisse der Setzungsmessungen zu überprüfen und festzulegen, in welchem Umfang ein zusätzlicher Setzungsausgleich erfolgen muss.

Die abgeschätzten Überhöhungen der Deichkrone (s. o.) bzw. der später ggf. erforderliche Setzungsausgleich kann im Böschungsbereich ausgehend von der Deichkrone linear abfallend auf einen Wert von 30 % am Böschungsfuß ausgebildet werden.



7.6 Anschluss Altdeich/Neudeich

Durch den Anschluss Altdeich/Neudeich entstehen am Altdeich Mitnahmesetzungen, die höhenmäßig am Altdeich entsprechend durch Bodenauftrag (Klei) auszugleichen sind.

8. Hinweise zur Bauausführung

8.1 Witterungseinflüsse und Kleieinbau

Die im Deichlager anstehenden bindigen organischen Böden weichen bei Vorhandensein von Wasser und dynamischer Belastung leicht auf. Bei ungünstigen Witterungslagen ist eine Bearbeitung dieser Böden daher nicht möglich.

Der Einbau von gefrorenen Materialien bzw. auf gefrorenen Materialien ist auszuschließen.

Vor dem Einbau des Deichmaterials ist der vorhandene Bewuchs kurz abzumähen und das Mähgut zu entfernen. Die vorhandenen Gräben und Entwässerungsmulden sind zu entschlammen und vor der Deicherstellung wasserfrei zu halten.

Wir empfehlen, für den Kleieinbau die bei Hamburger Deichbaumaßnahmen angewandten „Empfehlungen für den Kleieinbau und die Kleiverdichtung“, Stand Dezember 1999, zu berücksichtigen.

8.2 Baubegleitende Messungen

8.2.1 Setzungsmessungen

Für die Kontrolle des Zeitsetzungsverhaltens bzw. der erreichten Konsolidierung der Weichschichten sind bauzeitlich Setzungsmessungen in Abständen von etwa $a = 100$ m jeweils in der Deichkrone und im Bereich der beiden Böschungsfüße durchzuführen.

Die Nullmessung ist unmittelbar nach dem Einbau der Messpegel auszuführen. Die Folge-messungen sind während des Bodenauftrages täglich und anschließend im wöchentlichen Abstand vorzunehmen. Die Messungen sind sofort messtäglich aufzutragen und auszuwerten, so dass mögliche Schwächezonen im Baugrund rechtzeitig erkannt werden können. Ggf. ist in kritischen Bereichen der Deichbau zu unterbrechen. Abhängig von den Mess-



ergebnissen können die Messintervalle ggf. vergrößert werden. Die Messpegel sind zu sichern und entsprechend dem Baufortschritt zu verlängern.

Die Setzungsmessungen sind mindestens bis zur Fertigstellung des Deiches durchzuführen. Darüber hinaus empfehlen wir, die Messungen zur Überprüfung des prognostizierten Zeitsetzungsverhaltens noch bis mindestens 2 Jahre nach Fertigstellung des Deiches fortzuführen. Die Messintervalle hierfür sind nach den dann vorliegenden Messergebnissen festzulegen.

Vor dem Rückbau des bestehenden Deiches muss eine Auswertung und Beurteilung der bis dahin vorliegenden Messergebnisse erfolgen. In diesem Zusammenhang ist der Umfang des ggf. noch erforderlichen Setzungsausgleiches unter Berücksichtigung der noch aufzubringenden Kleiabdeckung festzulegen.

8.2.2 Feldflügelsondierungen

Im Bereich 2 der Deichbaumaßnahme ist vor dem Rückbau des vorhandenen Deiches der in den Standsicherheitsberechnungen (s. Abschn. 7.4) angenommene Scherfestigkeitszuwachs durch die Konsolidierung der Weichschichten über Feldflügelsondierungen nach DIN 4094-4 nachzuweisen. Wir empfehlen, die Feldflügelsondierungen in Abständen von etwa $a = 200$ m auszuführen. Damit das im Deichlager angeordnete Armierungsgewebe nicht beschädigt wird, sind die Feldflügelsondierungen direkt angrenzend an das umgeschlagene Armierungsgewebe auszuführen.

8.3 Deichlager

Angaben zur Vorbereitung des Deichaufstandsfläche und zur erforderlichen Stabilisierung/Armierung des Deichlagers sind den Abschn. 7.1 bis 7.3 sowie 8.1 zu entnehmen.

8.4 Deichverteidigungsweg

Bedingt durch die erforderliche Geländeaufhöhung für den Deich werden am Deichverteidigungsweg Setzungen auftreten. Diese sind bei der anstehenden Baugrundsichtung unvermeidlich und ggf. im Zuge der Unterhaltungsarbeiten auszugleichen.



Zur Vergleichmäßigung der auftretenden Setzungen und zum Ausgleich möglicher Setzungsdifferenzen und Spurrillenbildungen empfehlen wir auf dem Planum des Deichverteidigungsweges ein stabilisierendes Geogitter (z. B. Tensar-SS 30 oder gleichwertig, Zugfestigkeit ≥ 30 kN/m bei rd. 3 % Dehnung) einzubauen.

Die Oberflächenbefestigung des Deichverteidigungsweges sollte erst nach einer Liegezeit des fertiggestellten Deiches von $t \geq 1$ Jahr eingebaut werden.

Die Dicke des Oberbaues ist nach den Angaben in der RStO 01 in Abhängigkeit von der gewählten Bauklasse und der maßgebenden Frosteinwirkungszone zu wählen.

Für die mineralischen Schichten des Straßenoberbaues ist eine Entwässerung in die vorgesehene seitliche Entwässerungsmulde vorzusehen.

9. Zusammenfassung

Der südlich der Ortschaft Hechthausen und östlich der Ortschaft Klint geplante Neubau des Ostedeiches in einer Trasse neben dem vorhandenen Deich soll aus einem Deichkern aus Sand mit einer Deckschicht aus Klei hergestellt werden.

Hinweise zur Verwendbarkeit der Böden des vorhandenen Deiches und in den benachbarten Flächen als Deichdeckschicht können Abschn. 6 entnommen werden.

Im Bereich der geplanten Deichtrasse stehen inhomogene, stark kompressible und gering scherfeste organischen Weichschichten aus Klei und Torf an. Abhängig von Zusammensetzung der organischen Weichschichten ist die Deichbaumaßnahme im Hinblick auf die erforderlichen Maßnahmen zur ausreichend standsicheren Gründung in 3 Bereiche zu unterteilen (s. Abschn. 7.1 bis 7.3).



Für den Bereich 2 von ca. Station 0+350 bis ca. Station 1+200 wird für eine ausreichend stand-sichere Gründung des geplanten Deiches die Bewehrung des Deichlagers durch den Einbau eines 2-lagigen Armierungsgewebe erforderlich. Ferner ist nach Einbau der Bewehrung für den er-forderlichen Scherfestigkeitszuwachs der anstehenden organischen Weichschichten eine Mindestliegezeit von etwa einem Jahr einzuplanen (s. Abschn. 7.3).

Für die Bereiche 1 und 3 von ca. Station 0+000 bis ca. Station 0+350 und von ca. Station 1+200 bis Station 1+893 empfehlen wir zur Vergleichmäßigung der zu erwartenden Setzungen und zur Befestigung der Deichaufstandsfläche sowie zur Erhöhung der Geländebruchsicherheit ebenfalls den Einbau eines 2-lagigen Armierungsgewebes (s. Abschn. 7.2).

Die Deichstandsicherheit (Sicherheit gegen Geländebruch) wird in Abschn. 7.4 beurteilt. An-gaben zu den zu erwartenden Setzungen und zum erforderlichen Setzungsausgleich (Über-höhung) sind in Abschn. 7.5 enthalten.

Die Hinweise zur Bauausführung gemäß Abschn. 8 sind bei der weiteren Planung und bei der Bauausführung zu berücksichtigen.

Bearbeiter:

(Koldewei)

Grundbauingenieure
Steinfeld und Partner GBR