

Hamburg · Berlin · Kiel
Ludwigshafen · Oldenburg

Heinrich-Hertz-Straße 116
22083 Hamburg
Tel.: (0 40) 22 70 00 - 0
Fax: (0 40) 22 70 00 - 28

www.igb-ingenieure.de

Hamburg, 15.04.2011
10-152 • ZI/Ca/WI

Untersuchung der Deichsicherheit für Kompensationsmaßnahmen an der Stör

- **Maßnahmenggebiet Siethfeld**

Ermittlung und Bewertung der Deichsicherheit

Auftraggeber:

Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg
Projektbüro Fahrrinnenanpassung
Moorweidenstraße 14
20148 Hamburg

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 EINLEITUNG	3
2 AUFGABENSTELLUNG	3
3 UNTERLAGEN	4
4 BAUVORHABEN	5
4.1 Bestand / Ist-Zustand	5
4.2 Geplante Maßnahme / Plan-Zustand	6
5 BAUGRUNDVERHÄLTNISSE	8
5.1 Aufschluss- und Laborprogramm	8
5.2 Untergrundaufbau	9
5.2.1 Deckschicht	10
5.2.2 Mutterboden	10
5.2.3 Aufgefüllter Sand (Deichkörper)	10
5.2.4 Aufgefüllter Geschiebemergel (Deichkörper)	11
5.2.5 Aufgefüllter Klei, aufgefüllter Schluff (Deichkörper)	12
5.2.6 Gewachsener Sand	13
5.2.7 Geschiebemergel	14
5.3 Grundwasser	15
6 BODENKENNWERTE	15
7 STANDSICHERHEITSUNTERSUCHUNGEN, STRÖMUNGSBERECHNUNGEN	16
7.1 Berechnungsverfahren	18
7.2 Berechnungsmodelle	19
7.3 Berechnungsablauf und Randbedingungen	20
7.4 Berechnungsergebnisse	22
7.5 Gegenüberstellung Ergebnisse Ist-Zustand/Plan-Zustand	25

8	FOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN	26
8.1	Folgerungen.....	26
8.2	Empfehlungen.....	27
8.2.1	Maßnahmen gegen Qualmwasseraustritt.....	27
8.2.2	Maßnahmen zur Erhöhung der Standsicherheit	31
9	SICHERUNGSMAßNAHMEN AM MITTELDEICH	31
10	ZUSAMMENFASSUNG	32
	ANLAGENVERZEICHNIS.....	34

1 EINLEITUNG

Im Rahmen der geplanten Fahrrinnenanpassung der Elbe an die Erfordernisse der Containerschifffahrt und den daraus resultierenden Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen sind an der Stör Veränderungen von einzelnen außendeichs der Mitteldeiche gelegenen Teilflächen vorgesehen.

Die Teilflächen liegen zwischen Störufer und Mitteldeich (Hauptdeichlinie der Stör), sie sind mit Sommerdeichen eingefasst. Geplant ist die punktuelle Öffnung der Sommerdeiche. Damit verbunden ist eine Vergrößerung des vorhandenen Tideeinflusses bis an den Mitteldeich.

Die vorgesehenen Ausgleichsmaßnahmen sind mit lokalen Veränderungen der hydrologischen Gegebenheiten verbunden. Im Rahmen einer Abflussberechnung wurden die Auswirkungen der geplanten Maßnahmen auf den Hochwasserabfluss der Stör durch das Büro Golder Associates untersucht.

2 AUFGABENSTELLUNG

Vom Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg (WSA Hamburg) wurden wir beauftragt, die Auswirkungen auf die Sicherheit der Hauptdeiche bzw. der Hauptdeichlinien in den Maßnahmengebieten Neuenkirchen, Bahrenfleth, Siethfeld und Kellinghusen zu untersuchen. Dieser vorliegende Berichtsteil befasst sich mit dem Gebiet Siethfeld.

Im Rahmen der genannten Aufgabenstellung waren zunächst der Deichaufbau sowie die Untergrundverhältnisse im Bereich des Mitteldeiches und des Deichvorlandes durch Baugrundaufschlüsse zu erkunden sowie die geotechnischen Verhältnisse zu beurteilen.

Auf Grundlage dieser Untersuchungsergebnisse sind Berechnungsprofile und Berechnungskennwerte festzulegen, um anhand von Standsicherheitsuntersuchungen und Durchströmungsberechnungen die Deichsicherheit zu ermitteln und zu bewerten.

Diese Untersuchungen sollen für verschiedene Wasserstände durchgeführt werden und zwar für den Ist-Zustand, d. h. den derzeitigen Zustand mit vollständigem Sommerdeich

und für den Plan-Zustand, d. h. den künftigen Zustand nach punktueller Öffnung der Sommerdeiche.

Dabei sind in Abstimmung mit dem WSA Hamburg die Wasserstände

- mittleres Tidehochwasser
- Wasserstand in OK Sommerdeich
- Wasserstand bei HQ 100

näher zu betrachten.

Grundlagen für die Erfassung der aktuellen Deich- und Geländehöhen liefert das im Zuge der Erkundungsarbeiten vorgenommene Aufmaß von Querprofilen des Mitteldeiches.

Für die Erfassung der hydraulischen Randbedingungen (u. a. Wasserstände und Einstauzeiten) sind die Ergebnisse der Abflussberechnungen des Büros Golder zu berücksichtigen.

Die Untersuchungsergebnisse für den Ist-Zustand und den Plan-Zustand sollen gegenübergestellt werden, um Änderungen herauszuarbeiten, die sich durch Maßnahmenumsetzung ergeben können.

Bei eintretenden Defiziten sind erforderliche Maßnahmen zur Gewährleistung der Deichsicherheit zu empfehlen. Anhand einer Schätzung sollen für mögliche Ausführungsvarianten die zu erwartenden Kosten benannt werden.

3 UNTERLAGEN

Zur Ausarbeitung des vorliegenden Berichts standen uns die im Folgenden aufgeführten Unterlagen zur Verfügung:

Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg

- [1] Unterlagen zum Vertrag vom 28.07.2010
- [1a] Planänderungsunterlage III, Teil 12a (UVP-Screening)

Joern Thiel Baugrunduntersuchung

- [2] Schichtenverzeichnisse, BS 1 bis BS 46, vom 06. bis 14.09.2010,
Ergebnisse der Rammsondierungen, DPL 1 bis DPL 11, vom 21.09. und
22.09.2010
- [3] Aufmaß Deichquerprofile vom 15.10.2010

Golder Associates

- [4] Wirkung von Ausgleichsmaßnahmen auf das Abflussverhalten der Stör
Bericht vom 04.10.2010

BWS GmbH

- [5] Ergänzung zum landschaftspflegerischen Begleitplan, Drittbetroffenheit
Bericht vom 24.06.2010

4 BAUVORHABEN**4.1 Bestand / Ist-Zustand**

Das Maßnahmengebiet Siethfeld liegt auf einer Fläche zwischen der Stör und der Landesstraße L 115 (Breitenburger Straße) südlich der Ortschaft Kellinghusen. Es hat eine Fläche von etwa 37 ha. Der 1400 m lange Mitteldeich bildet die rückwärtige Begrenzung des Maßnahmengebietes. Die Landesstraße liegt binnen unmittelbar am Fuß des Mitteldeiches. Das Gebiet ist auf dem Übersichtslageplan kenntlich gemacht, vgl. Anlage 1.1.2. Der Polder Siethfeld liegt – anders als die tidegeprägten Gebiete Neuenkirchen und Bahrenfleth – im oberwassergeprägten Abschnitt der Stör. In Höhe Siethfeld wirkt sich die Tidendynamik der Elbe nur noch gedämpft auf den Wasserstand der Stör aus. So liegt der Unterschied zwischen Mittlerem Tidehochwasser (MThw) und Mittlerem Tideniedrigwasser (MTnw) lediglich bei etwa 35 cm.

- Ist-Zustand: MThw auf + 1,58 mNN, MTnw + 1,23 mNN

Der Mitteldeich weist Kronenhöhen zwischen + 4,0 mNN und + 4,4 mNN auf. Binnen liegt das Gelände am Deichfuß auf Höhen um + 1,5 mNN bis + 2,6 mNN. Abschnittsweise ist zwischen Deich und Landstraße ein Graben vorhanden. Die Straße selbst liegt auf

Höhen zwischen etwa + 2,0 mNN und + 2,3 mNN, das binnen an die Straße angrenzende Gelände einige Dezimeter tiefer. Im Querprofil stellt sich der Straßenkörper als breite Binnenberme dar.

Die vor dem Mitteldeich liegenden Wiesen werden durch Sommerdeiche (Kronenhöhe Minimum etwa + 2,2 mNN) geschützt. Die Wiesen liegen am Deichfuß auf Höhen um + 1,3 mNN bis + 2,3 mNN. Zur Stör hin fällt das Gelände in einigen Bereichen auf etwa + 1,0 mNN bis + 1,5 mNN ab. Durch die Sommerdeiche kommt es uns gemachten Angaben zufolge im Ist-Zustand nicht zu tidebedingten Überflutungen. Gemäß der vorliegenden Abflussberechnung [4] sind jedoch mehrmals im Jahr Überflutungen der Sommerdeiche infolge Hochwässer zu erwarten.

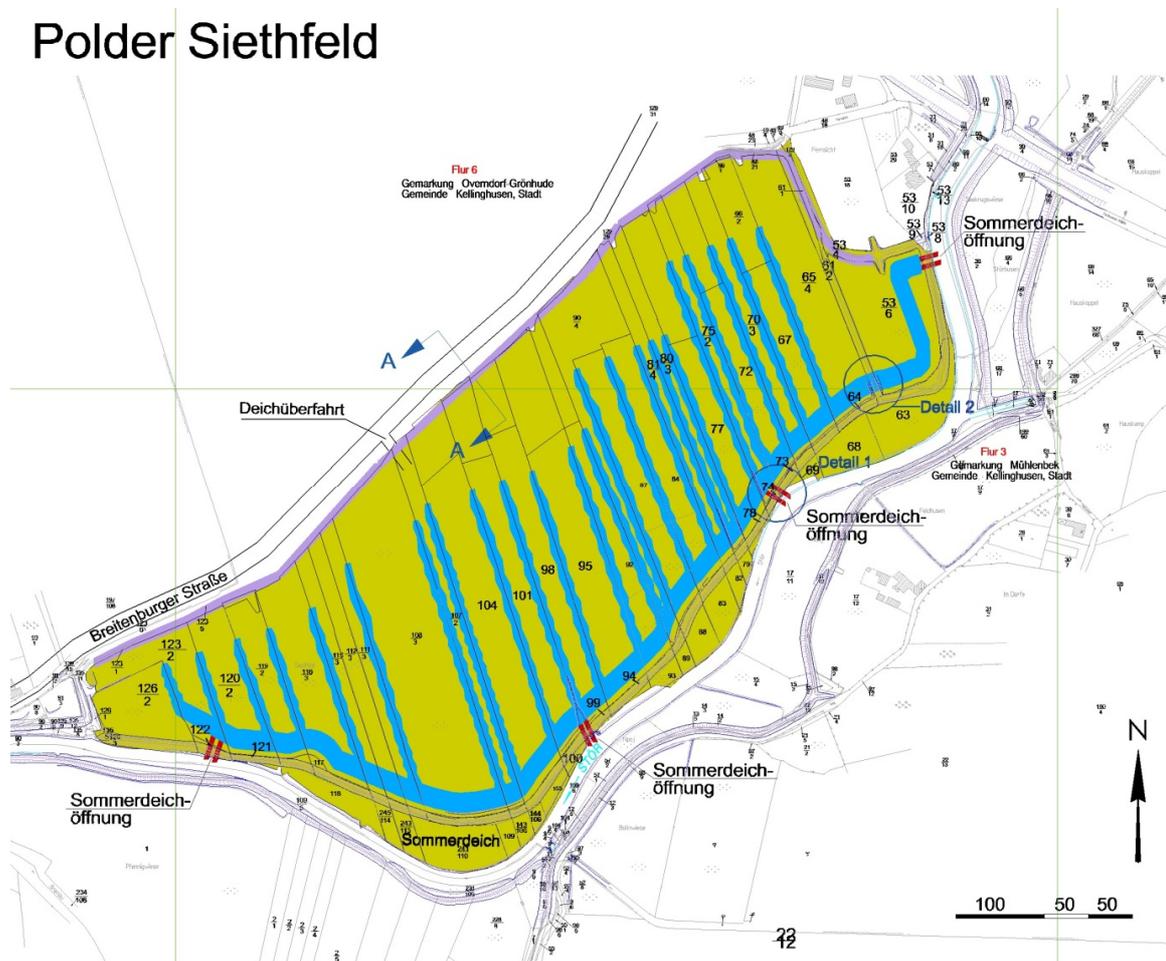
Derzeitig ist im Hochwasserfall von folgenden Wasserständen auszugehen:

HQ 1	+ 2,99 mNN
HQ 5	+ 3,12 mNN
HQ 10	+ 3,15 mNN
HQ 100	+ 3,22 mNN

Bei Überflutung der Sommerdeiche wurden in der Vergangenheit wiederholt Qualmwasseraustritte auf der Binnenseite des Mitteldeiches beobachtet.

4.2 Geplante Maßnahme / Plan-Zustand

Polder Siethfeld



Geplant ist die Öffnung des Sommerdeiches mittels Rückbau an fünf Stellen jeweils auf einer Länge von etwa 18 m (gemessen in der Deichkrone). Die Breite der geplanten Durchstichsohle beträgt ca. 5 m. Einzelheiten zum geplanten Vorhaben sind der Planänderungsunterlage III Teil 12a zu entnehmen [1a].

Über die geplanten Sommerdeichöffnungen soll Wasser in das Grabennetz der Wiesen vor dem Mitteldeich einströmen. Für die zu erwartenden Tidewasserstände gelten folgende Werte:

- Plan-Zustand: MThw auf + 1,42 mNN, MTnw + 1,32 mNN

Tief liegende Bereiche der Wiesen werden bei den geringen Änderungen der Tidewasserstände ständig benetzt. Höhere Wasserstände erreichen den Fuß des Mitteldeiches.

Verglichen mit dem Ist-Zustand verringert sich der Einfluss der Tide. Der Unterschied zwischen MThw und MTnw beträgt nur noch etwa 10 cm.

Gemäß Abflussberechnung [4] sind künftig folgende Wasserstände zu erwarten:

HQ 1	+ 2,99 mNN
HQ 5	+ 3,12 mNN
HQ 10	+ 3,15 mNN
HQ 100	+ 3,22 mNN

Diese nach Simulation des Abflussverhaltens neu zu berücksichtigenden Wasserstände entsprechen den bisher zu erwartenden Wasserständen, vgl. Abschnitt 3.1.

Neben dem täglichen Tideeinfluss erreichen oberwasserinduzierte Hochwässer, die bisher vom Sommerdeich zurückgehalten wurden, nun häufiger (ggf. erstmals) den Mitteldeich. Die Hochwässer können über mehrere Tage andauern.

5 BAUGRUNDVERHÄLTNISSE

5.1 Aufschluss- und Laborprogramm

Zur Untersuchung der Baugrundverhältnisse und zur Erkundung des Deichaufbaus wurden im September 2010 Aufschlussarbeiten durchgeführt.

Der Mitteldeich ist dabei zwischen den Stationen 1+050 und 2+250 auf der Deichkrone sowie am Deichfuß binnen und außen, in der Böschung außen und zusätzlich im Deichvorland durch insgesamt 46 Bohrsondierungen bis in Tiefen von 8 m erkundet worden. Zusätzlich wurden drei Schürfe angelegt. Zur Bestimmung der Lagerungsdichte wurden auf der Deichkrone 11 leichte Rammsondierungen (DPL-5) durchgeführt. Die Ansatzpunkte der einzelnen Aufschlüsse sind auf Anlage 1.2.1 bis 1.2.3 dargestellt.

Die bei den Aufschlussarbeiten entnommenen Bodenproben wurden von uns angesprochen. Ausgewählte Proben sind im Labor hinsichtlich ihrer bodenmechanischen Eigenschaften untersucht worden.

Neben Kornverteilungskurven und Wassergehalten wurde zusätzlich ein Durchlässigkeitsversuch an einer ungestörten Bodenprobe durchgeführt, die dem Schurf Sch 1 entnommen wurde.

5.2 Untergrunderbau

Die Ergebnisse der Untergrunderkundung sind in den Anlagen 2.1.1 bis 2.1.3 für den Längsschnitt (Deichkrone und Deichvorland) und in den Anlagen 2.2.1 bis 2.2.8 für die Querschnitte bei den Stationen 1+100, 1+250, 1+400, 1+600, 1+800, 2+000, 2+150 und 2+250 höhengerecht als Bodenprofile dargestellt.

Den Schichtenprofilen liegen die Schichtenverzeichnisse des Bohrunternehmers zugrunde, die von uns durch Ansprache der aus den in einzelnen Bodenschichten entnommenen Proben sowie anhand der Ergebnisse der durchgeführten Laborversuche überarbeitet und ergänzt wurden.

Danach kann der Untergrunderbau im Maßnahmenbereich Siethfeld wie folgt beschrieben werden:

Auf dem Deichkörper steht zunächst eine **Deckschicht** aus aufgefüllten Sanden an. In den angrenzenden Flächen wurden überwiegend **Mutterboden**, vereinzelt auch aufgefüllte Sande (**Deckschicht**) erkundet.

Der Deichkörper wird überwiegend aus **aufgefüllten Sanden** und aus **aufgefülltem Geschiebemergel** gebildet. Vereinzelt wurde innerhalb des Deichkörpers auch **aufgefüllter Klei** bzw. **Schluff** erkundet. Insgesamt ist der Deichaufbau als sehr inhomogen zu bezeichnen.

In der Deichaufstandsfläche stehen **gewachsene Sande** an, die von **Geschiebemergel** unterlagert werden.

Die im Deichkörper angetroffenen gering wasserdurchlässigen Böden wie Geschiebemergel, Klei oder Schluff sind nicht durchgehend über die gesamte Deichlänge vorhanden. So wurde bei den in der Deichkrone abgeteufte Aufschlüssen an den Stationen 2+100 und 2+250 im Deichkörper aufgefüllter Klei und kein aufgefüllter Geschiebemergel und bei der Station 2+150 ausschließlich aufgefüllter Sand erbohrt. Des Weiteren ist auch kein Anschluss der aufgefüllten bindigen Böden zu dem unterlagernden gewach-

senen Geschiebemergel festgestellt worden. Daher kann der Deichkörper nicht als undurchlässig bezeichnet werden. Bei einem längeren Einstau ist mit einer Durchströmung des Deichkörpers zu rechnen.

Die Verhältnisse entlang der Deichlinie stellen sich wie folgt dar:

5.2.1 Deckschicht

Zunächst steht im Bereich des Deichkörpers flächendeckend eine Vegetationsschicht an, die aufgefüllt wurde. Diese Schicht wird im Wesentlichen aus Sand unterschiedlicher Zusammensetzung, vereinzelt mit schluffigen oder auch mit organischen Beimengungen und Pflanzenresten gebildet. Die erkundete Schichtdicke liegt zwischen 0,3 m und etwa 0,9 m.

5.2.2 Mutterboden

Im Deichvorland wurde mit einzelnen Aufschlüssen zunächst Mutterboden mit Schichtdicken zwischen 0,2 m und 0,7 m erbohrt. Der Mutterboden ist als schluffiger Sand mit organischen Beimengungen sowie Beimengungen an Pflanzenresten anzusprechen.

5.2.3 Aufgefüllter Sand (Deichkörper)

Der Deich wurde zum großen Teil aus Sand erstellt. Wie auch dem Bild 1 zu entnehmen ist, wird der aufgefüllte Sand im Wesentlichen aus Fein- und Mittelsand mit wechselnden Beimengungen an Grobsand und Schluff gebildet.

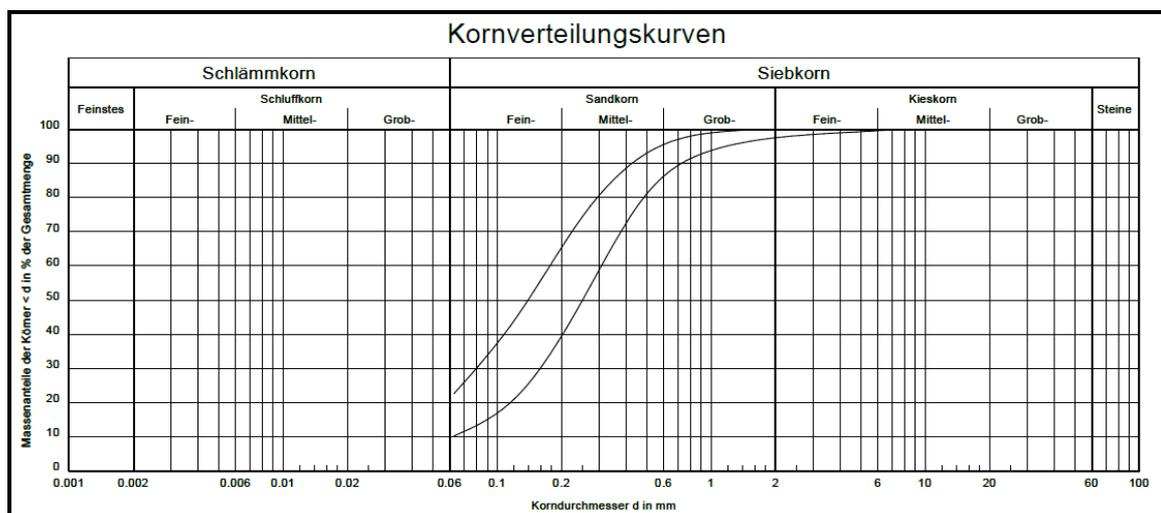


Bild 1 aufgefüllter Sand – Körnungsband

Nach den Ergebnissen der Leichten Rammsondierungen ist mit Schlagzahlen von überwiegend $N_{10} \geq 7$ davon auszugehen, dass die aufgefüllten Sande zumeist eine mindestens mitteldichte Lagerung aufweisen.

5.2.4 Aufgefüllter Geschiebemergel (Deichkörper)

In weiten Bereichen wurde der Deichkörper auch aus Geschiebemergel aufgebaut. Nach den Ergebnissen der durchgeführten Aufschlüsse kann vermutet werden, dass der Geschiebemergel kompakt auf der störseitigen Deichseite eingebaut wurde, vgl. Querschnitte der einzelnen Stationen, Anlagen 2.2.1 ff. Er steht jedoch weder über die gesamte Deichhöhe, z. B. als Kerndichtung, noch über die gesamte störseitige Böschung an. Des Weiteren schließt der Geschiebemergel in seiner Basis nicht an eine geringwasserdurchlässige Schicht (wie z. B. Klei) an, sondern an unterlagernden Sand mit einer vergleichsweise hohen Wasserdurchlässigkeit. Somit ist eine wassersperrende Funktion nur im begrenzten Maße gegeben.

Die Oberkante des aufgefüllten Geschiebemergels wurde zwischen etwa + 2,9 mNN und + 4,3 mNN und die Basis zwischen etwa + 0,8 mNN und + 2,8 mNN angetroffen. Der aufgefüllte Geschiebemergel weist dabei Schichtdicken zwischen 0,25 m und maximal 2,8 m auf.

Geschiebemergel als Teil des Deichkörpers ist in den Querschnitten Station 2+150 und 2+ 250 nicht angetroffen worden.

Wie dem Bild 2 zu entnehmen ist, weist der aufgefüllte Geschiebemergel ein enges Körnungsband und mit über 30 % Ton und Schluff einen relativ hohen Feinkornanteil auf. Gemäß der bodenmechanischen Ansprache ist er im Wesentlichen als sandiger Schluff mit schwach tonigen und kiesigen Beimengungen zu bezeichnen. Vereinzelt enthält er auch Beimengungen an Kalkbrocken, Ziegelresten sowie Sandstreifen. Die Konsistenz wurde überwiegend als steif und halbfest angesprochen.

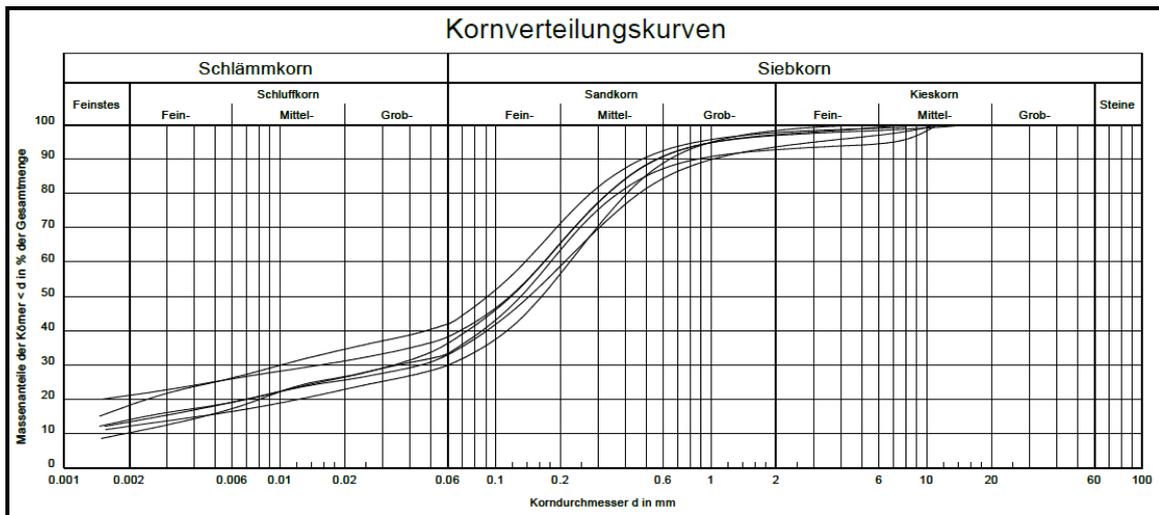


Bild 2 aufgefüllter Geschiebemergel – Körnungsband

Die ermittelten Wassergehalte liegen mit 10,0 % bis 15 % vergleichsweise niedrig. Sie korrespondieren mit der festgestellten steifen bis halbfesten Konsistenz des Geschiebemergels.

	Anzahl der Versuche	Ergebnisse		
		min	max.	Mittelwert
Wassergehalt w [%]	6	10,0	15,4	12,65

Tabelle 1 aufgefüllter Geschiebemergel – Wassergehalte

5.2.5 Aufgefüllter Klei, aufgefüllter Schluff (Deichkörper)

Bei den Stationen 2+000, 2+150 und 2+250 wurde mit einzelnen Aufschlüssen Klei bzw. Schluff erkundet. Die Schichtdicken dieser flurnah anstehenden Schichten liegen zwischen 0,75 m und 1,85 m. Die Konsistenz wurde als weich/steif und halbfest angesprochen.

Der aufgefüllte Klei bzw. der Schluff sind als toniger Schluff anzusprechen. Der Klei enthält organische, teilweise auch feinsandige Beimengungen.

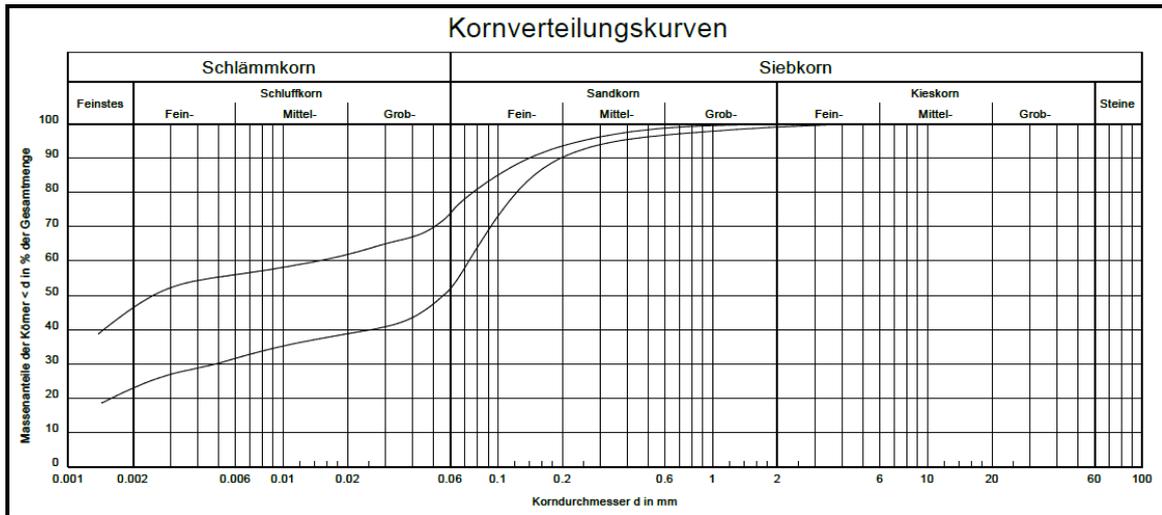


Bild 3 aufgefüllter Klei/Schluff – Körnungsband

Die für den aufgefüllten Klei ermittelten Wassergehalte liegen in der Größenordnung wie bei den Gebieten Neuenkirchen und Bahrenfleth.

	Anzahl der Versuche	Ergebnisse		
		min	max.	Mittelwert
Wassergehalt w [%]	2	24,9	35,6	30,25

Tabelle 2 aufgefüllter Klei – Wassergehalte

5.2.6 Gewachsener Sand

Der gewachsene Sand wurde etwa ab Tiefen zwischen + 2,5 mNN und $\pm 0,0$ mNN erkundet. Er steht mit Schichtdicken zwischen rund 2 m und rund 6,3 m, bzw. dort wo er nicht durchörtert wurde, über die Endteufe hinaus auch in größerer Mächtigkeit an.

Wie dem Bild 3 zu entnehmen ist besteht der untersuchte gewachsene Sand überwiegend aus Fein- und Mittelsand mit wechselnden Anteilen an Feinkorn und Grobsand.

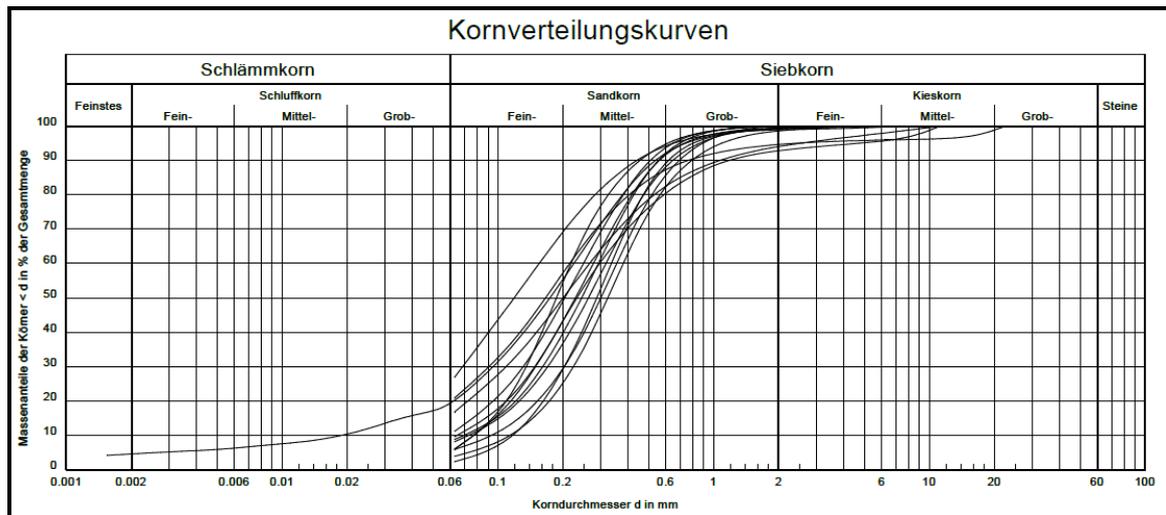


Bild 4 gewachsener Sand – Körnungsband

Die aus dem Körnungsband gemäß Hazen ermittelte Durchlässigkeit für Sande mit einem Feinkornanteil von unter 10 % liegt zwischen $5,2 \times 10^{-5}$ m/s und $2,3 \times 10^{-4}$ m/s. Die Durchlässigkeit für den gewachsenen schwach schluffigen Sand liegt bei $1,1 \times 10^{-6}$ m/s, vgl. Versuchsergebnis an der dem Schurf 1 entnommenen ungestörten Bodenprobe.

Nach den Ergebnissen der Leichten Rammsondierungen weist der gewachsene Sand gegenüber dem aufgefüllten Sand eine deutlich höhere Lagerungsdichte auf. Mit Schlagzahlen von $N_{10} \geq 7$ ist die Lagerungsdichte als mindestens mitteldicht, mit Schlagzahlen von $N_{10} \geq 20$ sogar als mindestens dicht zu bezeichnen.

5.2.7 Geschiebemergel

Soweit mit den durchgeführten Aufschlüssen erbohrt, wurde der Geschiebemergelhorizont etwa auf Koten zwischen $-3,2$ mNN und $-1,6$ mNN erkundet. Mit einer Reihe von Aufschlüssen, deren Endteufe bei einer Kote von etwa $-3,9$ mNN liegt, wurde jedoch kein Geschiebemergel erbohrt. Es ist daher nicht auszuschließen, dass der Geschiebemergelhorizont bereichsweise weit unter diese Kote abfällt.

Der Geschiebemergel ist im Wesentlichen als sandiger, teilweise stark sandiger Schluff mit schwach tonigen und schwach kiesigen Beimengungen anzusprechen.

Der gewachsene Geschiebemergel steht überwiegend in steifer oder halbfester Konsistenz an, vereinzelt auch in weicher/steifer und halbfester/fester Konsistenz.

	Anzahl der Versuche	Ergebnisse		
		min	max.	Mittelwert
Wassergehalt w [%]	3	13,3	14,3	14,0

Tabelle 3 Geschiebemergel – Wassergehalte

5.3 Grundwasser

Die im Zuge der Aufschlussarbeiten angetroffenen Wasserstände sind höhengerecht neben den Bodenprofilen auf den Anlagen 2.1.1 bis 2.1.3 und 2.2.1 bis 2.2.8 aufgetragen. Danach wurde das Grundwasser etwa in Höhen zwischen + 0,1 mNN und + 1,85 mNN eingemessen. Dabei ist ein genereller Anstieg des Grundwasserspiegels in Nord-Ost-Richtung, also stromaufwärts, zu erkennen.

Die gemessenen Wasserstände sind mit den beim Aufschlussverfahren (Bohrsondierungen) üblichen Unsicherheiten behaftet. Die Messwerte sind daher nicht uneingeschränkt mit Messungen in einem ausgebauten Bohrloch oder Grundwasserpegel vergleichbar.

Da die Wasserstände in diesem Bereich in den Sanden angetroffen wurden, die als wasserdurchlässig einzustufen sind, spiegeln sie annähernd den Grundwasserstand wieder.

6 BODENKENNWERTE

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Untergrundaufschlüsse und bodenmechanischen Laborversuche sowie unter Berücksichtigung unserer Erfahrungen mit vergleichbaren Böden können die nachfolgend aufgeführten charakteristischen Bodenkennwerte für erdstatische Berechnungen gemäß DIN 1054 (2005)¹ in Ansatz gebracht werden.

¹ DIN 1054: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau (01/2005)

Bodenart	Wichte		Scherfestigkeit		Durchlässigkeit k m/s	Steifemodul E_{sk} MN/m ²	Boden- gruppe DIN 18196 ²
	γ_k kN/m ³	γ'_k kN/m ³	ϕ'_k °	c'_k kN/m ²			
Deckschicht	18	8	27,5	1	$1 \cdot 10^{-5}$	-	OH, SE
Mutterboden	18	8	25	1	$1 \cdot 10^{-5}$	-	OH
aufgefüllter Sand	18	10	30	0	$1 \cdot 10^{-5}$	30	SE, SU
aufgefüllter Geschiebemergel	20	10	27,5	5	$5 \cdot 10^{-7}$	15	ST, SU
aufgefüllter Klei/Schluff	17	7	20	10	$1 \cdot 10^{-10}$	5	OT, OU, UM
gewachsener Sand	19	11	35	0	$2 \cdot 10^{-4}$	60	SE, SU
Geschiebe- mergel	21	11	30	15	$1 \cdot 10^{-7}$	20	ST, SU

Tabelle 4 Charakteristische Bodenkennwerte

7 STANDSICHERHEITSUNTERSUCHUNGEN, STRÖMUNGSBERECHNUNGEN

Nachfolgend werden sowohl für den Ist-Zustand als auch für den geplanten Zustand die Strömungen im Deich und im Untergrund untersucht sowie die Standsicherheit des Deichkörpers ermittelt.

Wie der Beschreibung der Örtlichkeit im Abschnitt 4 zu entnehmen ist, liegt die Kronenhöhe des etwa 1.400 m langen Mitteldeichs etwa zwischen + 4,0 mNN und + 4,4 mNN. Durch die geplante Öffnung des Sommerdeiches, dessen Kronenhöhe bei minimal + 2,2 mNN liegt [4], ist davon auszugehen, dass der Mitteldeich öfter als bisher eingestaut wird. Zur Veranschaulichung der Situation ist in Bild 5 der Geländeverlauf in Siethfeld skizziert. Die zugehörigen Höhen und Abstände zur Stör können der Tabelle 5 entnommen werden. Eine genaue Darstellung der Deichkubatur mit Baugrundmodell kann für die jeweiligen Deichquerschnitte den Anlagen 2.3.1 bis 2.3.7 entnommen werden. Hierbei sind:

² DIN 18196: Erd- und Grundbau; Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke

- MThw = Mittleres Tidehochwasser nach Plan, gem. [4]
 MTnw = Mittleres Tideniedrigwasser nach Plan, gem. [4]
 MW = $(MThw + MTnw) / 2$
 HQ100 = maximales Hochwasserereignis, gem. [4]
 HW Sommerdeich = Hochwasser in Höhe Sommerdeich

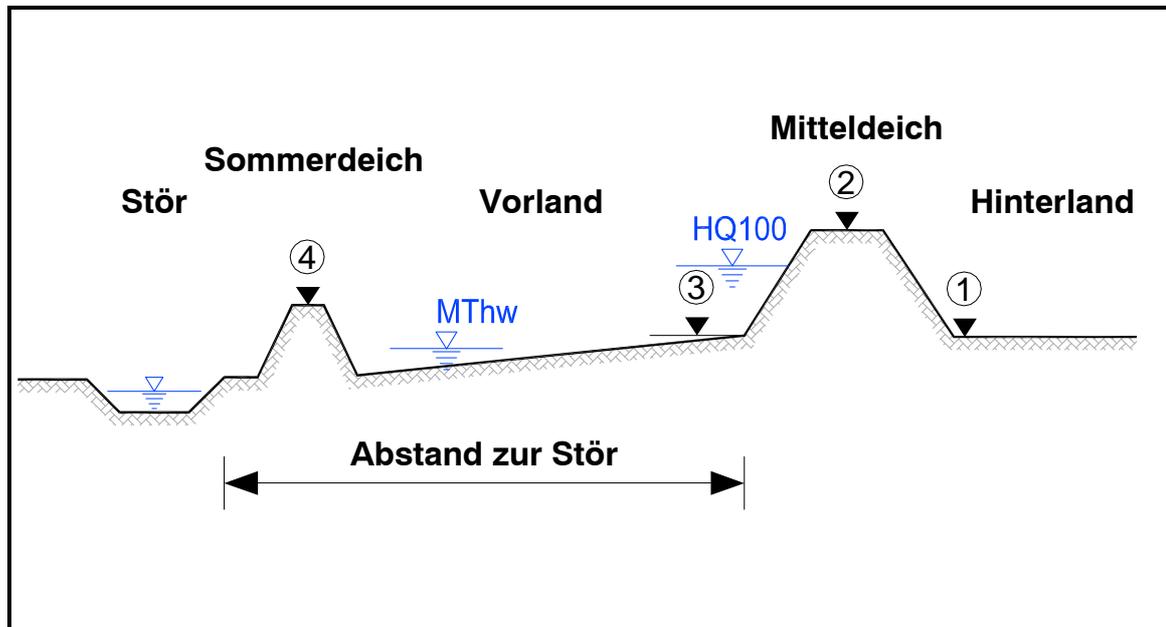


Bild 5 Skizzierter Geländeverlauf

Station	Deich- fuß binnen (1) [mNN]	Deich- kron e Mittel- deich (2) [mNN]	Deich- fuß außen (3) [mNN]	Som- mer- deich (4) [mNN]	Abstand zu Stör [m]	MW [mNN]	MThw [mNN]	HQ 100 [mNN]
1+100	+ 1,90	+ 4,25	+ 1,43	+ 2,2	~150	+1,37	+ 1,42	+ 3,22
1+250	+ 1,62	+ 4,32	+ 1,56	+ 2,2	~250	+1,37	+ 1,42	+ 3,22
1+400	+ 2,09	+ 4,21	+ 1,93	+ 2,2	~400	+1,37	+ 1,42	+ 3,22
1+600	+ 1,51	+ 4,10	+ 2,06	+ 2,2	~400	+1,37	+ 1,42	+ 3,22
1+800	+ 2,57	+ 4,21	+ 2,27	+ 2,2	~380	+1,37	+ 1,42	+ 3,22
2+000	+ 2,24	+ 4,27	+ 2,30	+ 2,2	~450	+1,37	+ 1,42	+ 3,22
2+150	+ 2,55	+ 4,15	+ 1,94	+ 2,2	~250	+1,37	+ 1,42	+ 3,22

Tabelle 5 Höhenangaben – Gelände und Wasserstände

Im **Ist-Zustand** wird das Störwasser bis zur Höhe des Sommerdeichs (+ 2,2 mNN) gekehrt. Für den Fall der Öffnung des Sommerdeichs (**Plan-Zustand**) ist dieses nicht mehr

der Fall. Bezogen auf das mittlere Tidehochwasser ergibt sich die Situation, dass zwar der binnenseitige Deichfuß höher als das MThw, das Hinterland entlang der L 115 jedoch mit Höhen um + 1,3 mNN niedriger als das MThw liegt.

Gemäß den Ergebnissen der Baugrunderkundung wird der Deichkörper im Wesentlichen aus aufgefüllten Sanden und aufgefülltem Geschiebemergel gebildet. In der Deichaufstandsfläche stehen gewachsene Sande an. Die gewachsenen wie auch die aufgefüllten Sande weisen im Gegensatz zum Geschiebemergel eine vergleichsweise hohe Wasserdurchlässigkeit auf. Diese begünstigt eine Vernässung des niedrig gelegenen Hinterlandes.

Um mögliche Auswirkungen der nach Öffnung des Sommerdeichs neu zu erwartenden Wasserstände auf den Mitteldeich abschätzen zu können, werden im Folgenden Berechnungen durchgeführt, mit denen die verschiedenen Wasserstände simuliert und so z. B. Einflüsse auf die Standsicherheit abgeleitet werden können.

7.1 Berechnungsverfahren

Die Berechnungen werden numerisch nach der Finiten Elemente Methode (FEM) als gekoppelte geohydraulische und geomechanische Berechnungen durchgeführt. Zum Einsatz kommt das Programmsystem PLAXIS der Firma Plaxis bv, Delft, Niederlande. Es ermöglicht zweidimensionale Berechnungen, in denen geohydraulisch sowohl stationäre als auch instationäre Verhältnisse abgebildet werden können.

FEM-Stoffgesetze und geotechnische Parameter

Sämtlichen Böden wurde ein linear elastisches - ideal plastisches Materialgesetz mit einer Bruchbedingung nach Mohr-Coulomb zugewiesen. Die den Bodenarten zugeordneten Kennwerte entsprechen den Angaben in Abschnitt 6 dieses Gutachtens.

Die Ermittlung der Standsicherheiten erfolgt mittels der sogenannten phi-c-Reduktion. Dies ist eine Anwendung der Fellenius-Regel, in der die Scherparameter des Bodens ϕ' und c' schrittweise reduziert und die zugehörigen Spannungen und Verformungen berechnet werden. So werden die Scherparameter erf. ϕ' und erf. c' für den Zustand ermittelt, in dem ein Teil des Modells instabil wird und die Verformungen unendlich groß werden. Die Standsicherheit ermittelt sich durch das Verhältnis der Scherparameter

$$M_{sf} = \text{vorh. } \varphi' / \text{erf. } \varphi' = \text{vorh. } c' / \text{erf. } c'$$

Hierbei handelt es sich um eine globale Sicherheit im Sinne der DIN 4084(1981)³.

Vergleichsrechnung

Zur Verifizierung der FEM-Berechnungen werden zusätzlich die Standsicherheiten η mittels Gleitkreisen und Lamellen nach dem Verfahren von Bishop ermittelt. Hierbei handelt es sich ebenfalls um eine globale Sicherheit im Sinne der DIN 4084 (1981).

Nach DIN 4084 sind folgende Sicherheiten erforderlich:

$$M_{sf} \geq 1,3 \text{ (LF 1) bzw. } 1,2 \text{ (LF 2) für lamellenfreie Verfahren (hier FEM)}$$

$$\eta \geq 1,4 \text{ (LF 1) bzw. } 1,3 \text{ (LF 2) für Lamellenverfahren (hier Vergleichsrechnung)}$$

Der Lastfall 1 (LF 1) gilt für den Fall der täglichen Tide (ständige Situation), der Lastfall 2 (LF 2) für Hochwasserereignisse (vorübergehende Situation), Lastfalldefinition gemäß DIN 1054 (1976)⁴.

7.2 Berechnungsmodelle

Untersucht werden drei maßgebende Querschnitte durch den Mitteldeich, die aufgrund ihrer Zusammensetzung bzw. der Bodenbeschaffenheit und der Querschnittsgeometrie als besonders ungünstig für die betrachtete Deichstrecke einzustufen sind. Die Ausdehnung des Hinterlands wurde für das Modell so gewählt, dass am Modellrand keine Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel infolge kurzfristiger Wasserstandsänderungen vor dem Deich auftreten. Die Ausdehnung des Vorlands entspricht dem Abstand des Mitteldeichs bis zur Stör bzw. bis zu den Bewässerungsgräben, deren Wasserstand mit dem der Stör korrespondiert. Das Vorland fällt vom Mitteldeich Richtung Stör ab.

Querprofil Station 1+100

Der Untergrundaufbau wird wie in Anlage 2.3.1 abgebildet modelliert. Das Hinterland hat eine Länge von 120 m, das Deichvorland eine Länge von 150 m, vgl. auch Tabelle 5. In diesem Querprofil besteht der Deich aus aufgefüllten Sanden und Mergel.

³ DIN 4084(1981): Baugrund – Gelände- und Böschungsbruchberechnungen

⁴ DIN 1054 (1976): Baugrund – zulässige Belastung des Baugrundes

Querprofil Station 1+600

Der Untergrundaufbau wird wie in Anlage 2.3.4 abgebildet modelliert. Das Hinterland hat eine Länge von 120 m. Das Vorland wird mit einer Länge von 100 m bis zum Beginn der Bewässerungsgräben modelliert. Der Deich besteht aus aufgefüllten Sanden und Mergel.

Querprofil Station 2+150

Der Untergrundaufbau wird wie in Anlage 2.3.7 abgebildet modelliert. Das Hinterland hat eine Länge von 120 m. Das Vorland wird mit einer Länge 65 m bis zum Beginn der Bewässerungsgräben modelliert. Der Deich besteht aus aufgefüllten Sanden. Störseitig sind bindige Schichten aus Klei und Mergel vorgelagert.

7.3 Berechnungsablauf und Randbedingungen

Auf Grundlage der Ergebnisse der Abflussberechnungen [4] werden in Abstimmung mit dem WSA Hamburg⁵ drei Zustände untersucht, anhand derer die Auswirkungen der Maßnahme auf Binnenwasserstände und Standsicherheiten bewertet werden:

1. Untersuchung des täglichen Tideeinflusses mit einem maximalen Wasserstand auf Höhe des mittleren Tidehochwassers (MThw). Binnenseitig liegt das Gelände stellenweise unterhalb des MThw auf Höhe des Mittelwassers (Mw). Da großflächige Entwässerungsanlagen vorhanden sind, wird davon ausgegangen, dass am binnenseitigen Modellrand der Wasserstand nicht über die Geländeoberkante ansteigt und auf Höhe des Mw gehalten wird.
2. Bisher kehren die an der Stör verlaufenden Sommerdeiche Hochwasser, die bis höchstens Oberkante Sommerdeich auflaufen. In Zukunft werden diese Wasserstände direkt am Mitteldeich auftreten. Als Einstaudauer werden 4 Tage angesetzt.
3. Am Mitteldeich können die in [4] neu ermittelten Bemessungshochwasser anstehen. Untersucht wird das HQ100, da es auf der sicheren Seite liegend die Wasserstände der häufiger auftretenden Hochwasser beinhaltet. Als Einstaudauer werden 4 Tage angesetzt.

⁵ Abstimmung per eMail am 27.10. und 08.11.2010, Besprechung am 02.12.2010

Die Berechnungen werden für den Plan-Zustand durchgeführt, mögliche Auswirkungen des HQ100 im Ist-Zustand werden aus diesen Ergebnissen abgeleitet:

Wie im Abschnitt 4 erläutert, sind gemäß [4] die für den Plan-Zustand anzusetzenden Hochwässer HQ1, HQ5, HQ10 und HQ100 identisch mit denen für den Ist-Zustand. Für den Ist-Zustand liegen uns jedoch keine Angaben vor, welche Auswirkungen die Sommerdeiche auf die Einstaudauer haben. Generell bewirken die Sommerdeiche, dass auflaufendes Hochwasser zunächst zurückgehalten wird, der Polder erst später geflutet wird und das Hochwasser bis an den Hauptdeich gelangen kann. Andererseits bewirkt der Sommerdeich einen verzögerten Abfluss des Wassers. In Abstimmung mit dem WSA Hamburg wird davon ausgegangen, dass sich zwischen dem Ist-Zustand und dem Plan-Zustand keine signifikanten Unterschiede der Einstaudauern ergeben. Die folgenden Berechnungen werden daher ausschließlich für den Plan-Zustand durchgeführt.

Die Untersuchung der einzelnen Zustände mit unterschiedlichen hydraulischen Randbedingungen erfolgt anhand einzelner Untersuchungsschritte (Phasen), die z. T. aufeinander aufbauen. Die einzelnen Berechnungsphasen sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Phase	Simulationsschritt	Erläuterung
0	Initialzustand	Primärspannungen und Porenwasserdruck bei MW
1	MThw	Sickerlinie bei außen MThw und binnen Mw
2	HW Sommerdeich	Sickerlinie nach 4 Tagen, außen HWSommerdeich, binnen Mw
3	HQ100	Sickerlinie nach 4 Tagen, außen HQ100, binnen Mw
4	MThw	Berechnung der Standsicherheit mittels phi-c-Reduktion
5	HW Sommerdeich	Berechnung der Standsicherheit mittels phi-c-Reduktion
6	HQ100	Berechnung der Standsicherheit mittels phi-c-Reduktion

Tabelle 6 Berechnungsphasen

Die Ermittlung der Spannungen im Initialzustand erfolgt bei Mittelwasser. Anschließend wird der Wasserstand außen auf das mittlere Tidehochwasser erhöht, während binnen am Modellrand das Mittelwasser festgehalten wird. Hierfür werden die Sickerlinie durch den Deich und der zugehörige Spannungszustand berechnet. Dieser Zustand wird auf der sicheren Seite liegend stationär berechnet und dient als Ausgangspunkt für die instationären (zeitabhängigen) Berechnungen von Außenwasserständen auf Höhe OK Sommerdeich und auf Höhe HQ100.

In Tabelle 7 sind die als Rand- bzw. Anfangsbedingungen angesetzten Wasserstände zusammengestellt.

Fall		Wasserstände		Zeit [d]
		außen [mNN]	binnen [mNN]	
Mittelwasser	Mw	1,37	1,37	-
tägliche Tide	MThw	1,42	1,37	-
Sommerdeich	HW Sommerdeich	2,21	1,37	4
Hochwasser	HQ100	3,22	1,37	4

Tabelle 7 Hydrologische Rand- bzw. Anfangsbedingungen, Plan-Zustand

7.4 Berechnungsergebnisse

Als wesentliche Ergebnisse der Berechnungen werden für die in Abschnitt 7.2 erläuterten, maßgebenden Querschnitte die Sickerlinien im Deich sowie die Standsicherheiten ermittelt. In den Anlagen 4.1ff (Station 1+100) und 4.2ff (Station 1+600) sowie 4.3ff Station (2+250) sind die Ergebnisse der FEM-Berechnungen und der Vergleichsberechnungen dargestellt. Abgebildet sind die maßgebenden Gleitkörper der Standsicherheitsberechnungen sowie die Strömungsbilder der Berechnungsphasen mit Wasserspiegeldifferenzen.

In den Tabellen 8 bis 10 sind die Ergebnisse für die untersuchten Querprofile zusammengefasst. Die globalen Standsicherheiten, die mit FEM-Berechnungen ermittelt wurden, sind als M_{sf} , die mit dem Lamellenverfahren ermittelten als η angegeben. Des Weiteren sind die Wasserstände binnen und außendeichs nach Beendigung der Berechnungen angegeben.

Querprofil Station 1+100

Fall	Wasserstand am Deichfuß		Lastfall DIN 1054	Sicherheit DIN 4084	
	außen [mNN]	binnen [mNN]		M_{sf}	η
tägliche Tide	1,42	1,37	LF 1	1,91 > 1,3	1,92 > 1,4
Sommerdeich	2,21	1,70	LF 2	1,87 > 1,2	1,92 > 1,3
Hochwasser	3,22	> 1,90	LF 2	1,54 > 1,2	1,63 > 1,3

Tabelle 8 Querprofil Station 1+100 – Berechnungsergebnisse

Den Berechnungsergebnissen zufolge ist die Standsicherheit der Deichböschung hier in den untersuchten Fällen für den Plan-Zustand und somit auch für den Fall „Hochwasser“ im Ist-Zustand ausreichend.

Im Plan-Zustand tritt bereits bei den Fällen „tägliche Tide“ und „Sommerdeich“ Wasser auf der Binnenseite der Deiche aus, vergleiche Strömungsbilder in Anlage 4.1. Hier ist mit dem Austritt von Qualmwasser am Deichfuß bzw. am Fuß der Straße und in der Folge mit einer Vernässung des Hinterlandes zu rechnen. Wie den weiteren Strömungsbildern in Anlage 4.1 zu entnehmen ist, verstärkt sich der Austritt von Qualmwasser am Deichfuß beim Fall „Hochwasser“ wegen der größeren Wasserspiegeldifferenz.

Querprofil Station 1+600

Fall	Wasserstand am Deichfuß		Lastfall DIN 1054	Sicherheit DIN 4084	
	außen [mNN]	binnen [mNN]		M_{sf}	η
tägliche Tide	1,42	1,37	LF 1	1,67 > 1,3	1,67 > 1,4
Sommerdeich	2,21	> 1,51	LF 2	1,65 > 1,2	1,64 > 1,3
Hochwasser	3,22	> 1,51	LF 2	< 1,0	< 1,0

Tabelle 9 Querprofil Station 1+600 – Berechnungsergebnisse

Hier zeigen die Berechnungsergebnisse, dass die Standsicherheit der Deichböschung in den untersuchten Fällen „tägliche Tide“ und „Sommerdeich“ für den Plan-Zustand ausreichend ist. Im Fall „Hochwasser“ kann – bei in der Binnenböschung austretender Sickerlinie – für den Plan-Zustand und entsprechend auch für den Ist-Zustand **keine ausreichende** Standsicherheit nachgewiesen werden. Mit rechnerischen Sicherheiten um 1,0 befindet sich der Deich in der Nähe des Grenzgleichgewichts.

Im Plan-Zustand tritt hier wie bei Station 1+100 bereits in den Fällen „tägliche Tide“ und „Sommerdeich“ Wasser auf der Binnenseite der Deiche aus, vergleiche Strömungsbilder in Anlage 4.2. Somit ist auch hier mit dem Austritt von Qualmwasser am Deichfuß bzw. hinter der Straße sowie mit einer Vernässung des Hinterlandes zu rechnen. Wie den Strömungsbildern in der Anlage 4.2 weiter zu entnehmen ist, verstärkt sich der Austritt von Qualmwasser am Deichfuß beim Fall „Hochwasser“ wegen der größeren Wasserspiegeldifferenz wie beim Querprofil in Station 1+100.

Querprofil Station 2+150

Fall	Wasserstand am Deichfuß		Lastfall DIN 1054	Sicherheit DIN 4084	
	außen [mNN]	binnen [mNN]		M_{sf}	η
tägliche Tide	1,42	1,42	LF 1	1,15 < 1,3	1,15 < 1,4
Sommerdeich	2,21	2,05	LF 2	1,13 < 1,2	1,15 < 1,3
Hochwasser	3,22	> 2,55	LF 2	1,11 < 1,2	1,11 < 1,3

Tabelle 10 Querprofil Station 2+150 – Berechnungsergebnisse

Die in Tabelle 10 ausgewiesenen globalen Standsicherheiten zeigen im Vergleich mit den in Abschnitt 7.1 angegebenen erforderlichen Werten, dass der Mitteldeich im Querschnitt Station 2+150 unabhängig vom angesetzten Wasserstand keine ausreichenden Standsicherheiten aufweist. Ursache hierfür ist die zu steile Böschung auf der Binnenseite des Deichs, nicht die Beanspruchung durch die Strömungskräfte. Das Standsicherheitsdefizit ist damit auch im Ist-Zustand gegeben.

Im hier betrachteten Querschnitt ist das Hinterland höher als die binnendeichs ermittelten Wasserstände „täglichen Tide“ und „Sommerdeich“. Es ergibt sich im **Plan-Zustand** ein Anstieg des binnenseitigen Grundwasserstands im Dezimeterbereich, der auf den unmittelbaren Bereich hinter dem Deich beschränkt ist (Anstieg im Fall „Sommerdeich“ auf etwa + 2,0 mNN). Ein ausreichender Grundwasserflurstand ist gegeben, vergleiche Strömungsbilder in Anlagen 4.3. Die Anlage zeigt weiter, dass im Fall „Hochwasser“ auf der Binnenseite des Deichs Wasser austritt. Bei einem Hochwasser entsprechend HQ 100 ist mit Austritt von Qualmwasser am Deichfuß und in der Folge mit einer Vernässung des Hinterlandes zu rechnen (Wasserstand über + 2,55 mNN, vgl. Tabelle 10).

7.5 Gegenüberstellung Ergebnisse Ist-Zustand/Plan-Zustand

Die Untersuchungsergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

Fall/Wasserstand	Ist-Zustand	Plan-Zustand
MThw Ist + 1,58 mNN Plan + 1,42 mNN	Für den Mitteldeich nicht relevant, da Wasserstand durch Sommerdeich gekehrt wird	- ausreichende Standsicherheit der Deichböschung - Qualmwasser hinter der Straße
OK Sommerdeich Ist + 2,2 mNN Plan + 2,2 mNN	Für den Mitteldeich nicht relevant, da Wasserstand durch Sommerdeich gekehrt wird	- ausreichende Standsicherheit der Deichböschung - Qualmwasser hinter der Straße und zwischen Deich und Straße - Erosionsgefahr
HQ 100 Ist + 3,22 mNN Plan + 3,22 mNN	- Standsicherheit der Deichböschung abschnittsweise nicht ausreichend - Qualmwasser hinter der Straße und zwischen Deich und Straße - Erosionsgefahr	- Standsicherheit der Deichböschung abschnittsweise nicht ausreichend - Qualmwasser hinter der Straße und zwischen Deich und Straße - Erosionsgefahr

Tabelle 11 Gegenüberstellung der Ergebnisse, Station 1+100 und Station 1+600

Fall/Wasserstand	Ist-Zustand	Plan-Zustand
MThw Ist + 1,58 mNN Plan + 1,42 mNN	- Standsicherheit der Deichböschung nicht ausreichend	- Standsicherheit der Deichböschung nicht ausreichend - kein Qualmwasser
OK Sommerdeich Ist + 2,2 mNN Plan + 2,2 mNN	- Standsicherheit der Deichböschung nicht ausreichend - Wasserstände werden durch Sommerdeich gekehrt	- Standsicherheit der Deichböschung nicht ausreichend - kein Qualmwasser, Wasserstandsanstieg binnen ~ 0,5 m auf etwa + 2,0 mNN - ausreichende Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch
HQ 100 Ist + 3,22 mNN Plan + 3,22 mNN	- Standsicherheit der Deichböschung nicht ausreichend - Qualmwasser, Wasserstand binnen über Gelände, Wasserstand über + 2,55 mNN - Erosionsgefahr	- Standsicherheit der Deichböschung nicht ausreichend - Qualmwasser, Wasserstand binnen über Gelände, Wasserstand über + 2,55 mNN - Erosionsgefahr

Tabelle 12 Gegenüberstellung der Ergebnisse, Station 2+150

Da die Wasserstände im Fall HQ 100 im Ist-Zustand praktisch identisch sind mit denen des Plan-Zustandes gilt hinsichtlich der Folgerungen für den Ist-Zustand das Berechnungsergebnis des Plan-Zustandes, vgl. dazu Ausführungen in Abschnitt 7.3.

8 FOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

8.1 Folgerungen

Wie den obigen Ausführungen zu entnehmen ist, kann nicht bei allen untersuchten Querschnitten für alle Berechnungsansätze die erforderliche Standsicherheit bzw. nicht überall ein vernachlässigbar geringer Anstieg des Grundwasserstandes im Hinterland nachgewiesen werden.

Station 1+100 und Station 1+600

In diesem Deichabschnitt liegt das Hinterland binnenseits der Landesstraße niedriger als das MThw. Die Entwässerungsgräben im Hinterland lassen bereits jetzt auf einen flurnahen Grundwasserstand schließen.

Im **Ist-Zustand** sind bei der Station 1+100 und der Station 1+600 für die betrachteten Fälle „tägliche Tide“ und „Sommerdeich“ keine Maßnahmen zur Verstärkung des Mitteldeichs erforderlich. Im Fall „Hochwasser“ sind bereits heute Sicherungsmaßnahmen zu empfehlen, um eine Schwächung des Deichfußes infolge Qualmwasseraustritt und in der Folge eine Beeinträchtigung der Standsicherheit des Deiches zu verhindern.

Aus den gleichen Gründen ist im **Plan-Zustand** für alle drei betrachteten Fälle eine Sicherung des binnenseitigen Deichfußes erforderlich. Infolge der gegenüber dem Ist-Zustand erhöhten hydraulischen Beanspruchung kommt den Sicherungsmaßnahmen bei Öffnung des Sommerdeichs eine größere Bedeutung als im Ist-Zustand zu.

Die Durchführung von Sicherungsmaßnahmen wird neben der Vermeidung von Qualmwasseraustritten zu einer Verbesserung der Standsicherheit im Fall „Hochwasser“ führen (Station 1+600).

Station 2+150

In diesem Abschnitt liegt das Hinterland höher als das MThw und höher als der Sommerdeich. Hier weist der Deich bereits im **Ist-Zustand** unabhängig vom angesetzten Wasserstand nicht die erforderliche Standsicherheit auf. Die Berechnungsergebnisse deuten darauf hin, dass die Binnenböschung zu steil ist.

Desweiteren ist beim Fall „Hochwasser“ davon auszugehen, dass bereits heute am Deichfuß und hinterm Deich Wasser austreten und dieses zu einer Schwächung und bei länger anhaltender Durchströmung zu einer weiteren Beeinträchtigung der Standsicherheit des Deiches führen kann. In diesem Deichabschnitt sind Maßnahmen zur Verstärkung des Mitteldeichs erforderlich, die zum Einen zu einer Erhöhung der Standsicherheit des Deiches und zum Anderen zu einer Vermeidung von Qualmwasseraustritten führen.

8.2 Empfehlungen

Hinsichtlich der Durchführung von Sicherungsmaßnahmen wird zwischen den zu erwartenden Qualmwasseraustritten und den nachgewiesenen Standsicherheitsdefiziten, die nicht auf die Durchströmung des Deichs zurückzuführen sind, unterschieden.

8.2.1 Maßnahmen gegen Qualmwasseraustritt

Zur Unterbindung des Austritts von Qualmwasser am binnenseitigen Deichfuß und der Vernässung des Hinterlands kommen grundsätzlich folgende Varianten in Betracht, auf die nachfolgend näher eingegangen wird:

1. Unterbindung des Sickerwasserzutritts durch Herstellung einer hydraulischen Sperre
2. Aufhöhung des Geländes am Deichbinnenfuß und im Hinterland, so dass hier das Sickerwasser nicht mehr austritt
3. Herstellung einer Dränung am binnenseitigen Deichfuß, durch die im Fall HQ100 die Sickerlinie bis unter die bestehende Geländeoberkante abgesenkt wird

Variante 1 – hydraulische Sperre im Untergrund

Hydraulische Sperren können in Form einer vertikalen Abdichtung im Untergrund oder als horizontale Abdichtung im Deichvorland ausgeführt werden.

Vertikale Abdichtung

Die Herstellung einer vertikalen Dichtung kann als Kerndichtung, die im Untergrund in eine geringdurchlässige Schicht einbindet, erfolgen. Im vorliegenden Fall bietet sich hierzu eine Stahlspundwand an, die im Bereich der Deichkrone angeordnet wird, vgl. Prinzipskizze in Bild 6.

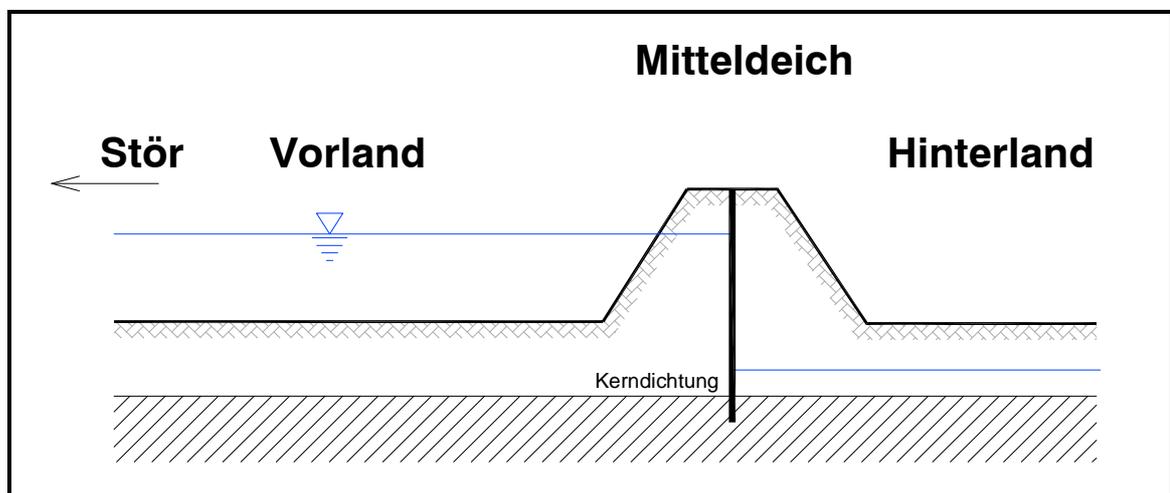


Bild 6 Variante 1.1 – Kerndichtung

Der Vorteil dieser Maßnahme ist, dass das Hinterland gegenüber den Wasserständen in der Stör komplett abgeriegelt wird. Bei niedrigem Hinterland und dem entsprechend niedrigen Grundwasserständen binnendeichs unterhalb des Tideniedrigwassers werden durch die Abriegelung keine negativen Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt bei Normaltiden gesehen. Desweiteren ist dieses System als weitgehend wartungsfrei einzustufen.

Nachteilig wirkt sich aus, dass der natürliche Grundwasserfluss unterbunden wird (Eingriff in den Grundwasserhaushalt). Abhängig von der Tiefe der geringdurchlässigen Schicht können sich große Wandlängen und somit hohe Materialkosten ergeben. Zur Ermittlung der erforderlichen Wandtiefen sind ergänzende Baugrunderkundungen durchzuführen.

Horizontale Abdichtung

Außendeichs ist zur Fließwegverlängerung das Aufbringen von Dichtungsmaterial ggf. in Verbindung mit dichtenden Bentonitmatten, wie beispielhaft in Bild 7 skizziert, möglich.

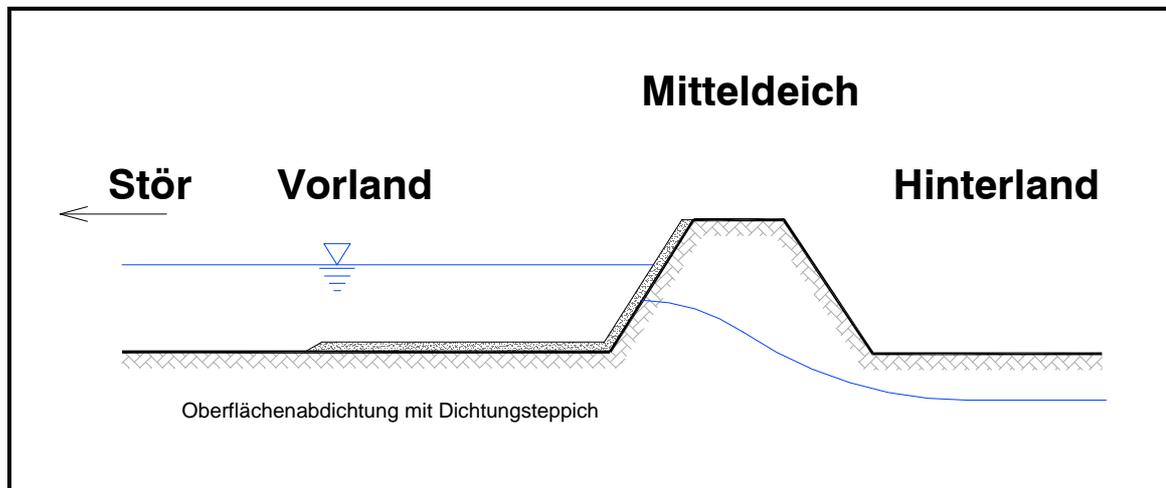


Bild 7 Variante 1.2 – Oberflächenabdichtung

Der Vorteil dieser Maßnahme liegt darin, dass der bauliche Eingriff in den Deichkörper als gering zu werten ist.

Der Nachteil liegt darin, dass zunächst der Bewuchs, d. H. insbesondere die Bäume im Bereich der Maßnahme zu entfernen sind. Des Weiteren führt diese Maßnahme nur bei temporären Wasseranstiegen zum gewünschten Ergebnis. Je länger ein Wasserstand außendeichs ansteht, desto weniger führt die Fließwegverlängerung zu einer Absenkung der Sickerlinie. Das bedeutet, dass diese Maßnahme für den Fall „täglicher Tideeinfluss“ langfristig nicht zu einer Absenkung der Sickerlinie führen wird.

Variante 2 – Geländeaufhöhung

Eine Erhöhung des Geländes hinter dem Mitteldeich erfolgt vorzugsweise durch das Anlegen einer Fußberme (Auflastfilter), so dass das Sickerwasser nicht unkontrolliert am Deichfuß austritt. Werden die Fußbermen bis hinter den Punkt geführt an dem die Sickerlinie unter GOK liegt, kann auf eine Fassung des Wassers und somit auf eine Vorflut verzichtet werden.

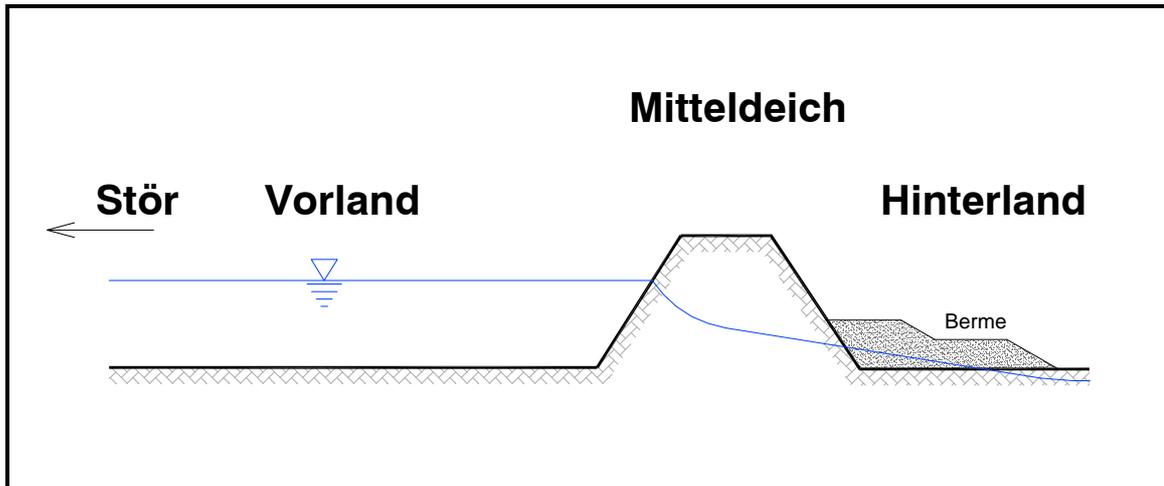


Bild 8 Variante 2 – Berme

Der geringe bauliche Eingriff in den Deichkörper ist als Vorteil zu werten. Nachteilig wirken sich der relativ große Platzbedarf und die eingeschränkte spätere Nutzung dieses Bereiches aus.

Variante 3 – Herstellung einer Dränung am binnenseitigen Deichfuß

Als Sicherungsmaßnahme, die binnendeichs eine Absenkung der Sickerlinie bewirkt, ist der Einbau eines Fußfilters in Verbindung mit einem Entwässerungsgraben geeignet, vgl. Prinzipskizze in Bild 9. Durch einen mit geeigneter Körnung aufgebauten Filter wird die Sickerlinie im Deich soweit abgesenkt, dass das Wasser auf der Oberfläche nicht mehr austritt; die rückschreitende Erosion wird verhindert. Für den Graben ergibt sich zusätzlicher Platzbedarf, dieser ist jedoch als relativ gering zu werten.

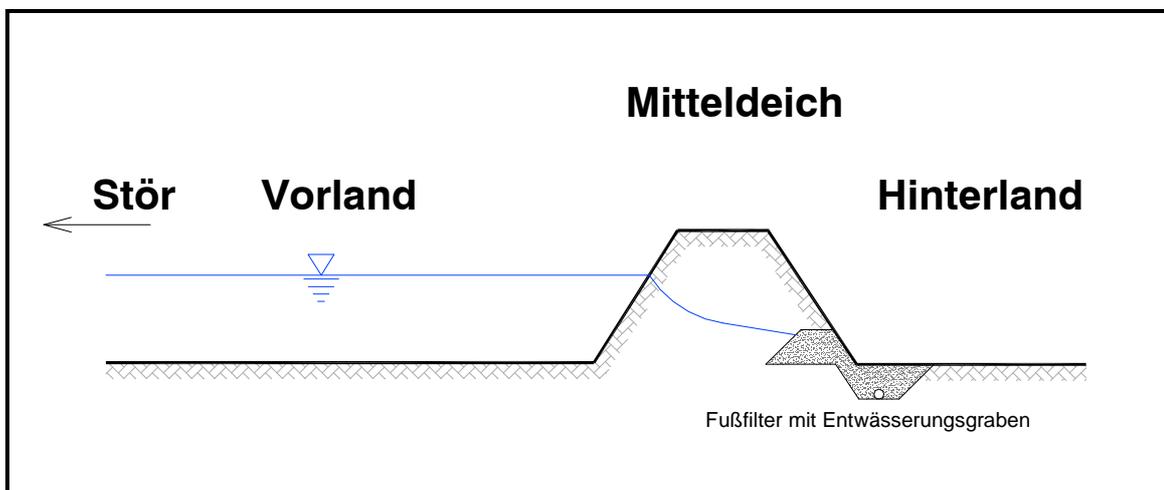


Bild 9 Variante 3 – Fußfilter

Der Nachteil dieser Maßnahme ist in dem baulichen Eingriff zu sehen. Im Zuge der weiteren Planung ist zu klären, ob der Fußfilter entlang der Straße unmittelbar am Deichfuß ausgeführt werden kann. Die Wirkung ist am Deichfuß größer als weiter binnen z. B. am Fuß der Berme für die Straßen.

Weiter ist zu berücksichtigen, dass für die Ableitung des Sickerwassers eine niedrige Vorflut erforderlich wird, die durch Pumpbetrieb erreicht werden muss, sofern eine natürliche Vorflut nicht gegeben ist. Es ist zu überprüfen in wie weit die vorhandenen Anlagen bereits zum derzeitigen Zeitpunkt ausgelastet sind. Zusätzlich ist zu beachten, dass der Entwässerungsgraben und die Drainage zu warten sind.

8.2.2 Maßnahmen zur Erhöhung der Standsicherheit

Die geringe Standsicherheit des Deiches bei Station 2+150 ist in erster Linie auf die steile Böschung zurückzuführen. Durch eine Anschüttung von Bodenmaterial kann eine flachere Böschungsneigung erzielt und somit die Standsicherheit auf das erforderliche Maß erhöht werden. Die Anschüttung kann gleichzeitig als Auflastfilter zur Anwendung kommen, wenn im Fußbereich eine entsprechende Körnung eingebaut wird. So kann zusätzlich auch die Durchfeuchtung des Deichfußes im Fall „Hochwasser“ vermieden werden.

Die technisch und wirtschaftlich sinnvollste Lösung, insbesondere für den Deichabschnitt mit niedrigem Hinterland, ist im Zuge weiterer Planungsschritte zu entwickeln.

9 SICHERUNGSMÄßNAHMEN AM MITTELDEICH

Im Rahmen einer ersten Varianten- und Kostenbetrachtung wurden exemplarisch mögliche Sicherungsvarianten betrachtet und grob die zu erwartenden Baukosten abgeschätzt. Im vorliegenden Fall sind hydraulische Sperren im Sinne vertikaler oder horizontaler Abdichtungen nicht geeignet, um den Sickerwasserzutritt zu den binnenseitigen Flächen verlässlich zu unterbinden. Folglich wurden Maßnahmen zur Sickerwasserfassung näher untersucht.

- Herstellung einer Sickerwasserfassung am binnenseitigen Deichfuß
- Verbesserung der Böschungsstandsicherheit

Die Sicherungsvarianten sind im Einzelnen im Anhang 1 erläutert und anhand von Prinzipquerschnitten grob dargestellt.

Die reinen Baukosten belaufen sich auf eine Größenordnung von

netto € 200.000,00

Die Kosten sind anhand eines Kurz-LV's im Anhang zusammengestellt.

Die genannten Kosten geben eine Orientierung für die Investitionen bei den geplanten baulichen Anlagen. Nicht enthalten sind Grundstückskosten, Folgekosten usw. Einzelheiten sind dem Anhang zu entnehmen. Es wird davon ausgegangen, dass anfallendes Wasser zum binnen gelegenen Hauptvorfluter abgeschlagen werden kann.

Im Zuge weiterer Planungsschritte (Vorplanung, Entwurfsplanung ...) sind detailliertere Untersuchungen erforderlich.

10 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der geplanten Fahrrinnenanpassung der Elbe ist an der Stör die Öffnung von Sommerdeichen vorgesehen. Damit verbunden ist eine Vergrößerung des vorhandenen Tideeinflusses bis an den Mitteldeich.

Aufbauend auf den Ergebnissen von Abflussberechnungen des Büros Golder wurden für das Maßnahmengbiet Siethfeld die Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien auf die Standsicherheit der vorhandenen Deiche untersucht:

- Täglicher Tideeinfluss
- Oberwasserinduzierte Hochwässer

Bezüglich der oberwasserinduzierten Hochwässer wurde der Fall eines Hochwassers auf Höhe des derzeit noch vorhandenen Sommerdeiches sowie des HQ 100 näher betrachtet, vgl. Abschnitt 7.

Entlang der hinter dem Deich verlaufenden L 115 konnte in Teilbereichen (Querprofil Station 1+600) keine ausreichende Standsicherheit des Mitteldeichs im Lastfall HQ 100

nachgewiesen werden. In dem Deichabschnitt ab Station 2+050 bis Deichende ergibt sich infolge der sehr steilen Binnenböschung eine zu geringe Standsicherheit des Deiches unabhängig von den Wasserständen in der Stör.

Entlang des gesamten untersuchten Deichabschnitts ist im Lastfall HQ 100 mit dem Austritt von Qualmwasser am binnenseitigen Deichfuß zu rechnen. In dem Teilbereich entlang der L 115 kann dieses bereits bei geringeren Wasserständen auftreten.

Damit sind auf gesamter Länge des Mitteldeichs Sicherungsmaßnahmen zur Verbesserung der Standsicherheit und zur Vermeidung von Qualmwasseraustritten erforderlich. In Abschnitt 8.2 werden verschiedene Sicherungsmaßnahmen beschrieben und bewertet.

In einer Varianten- und Kostenbetrachtung werden Sicherungsmaßnahmen für den Mitteldeich hinsichtlich der zu erwartenden Baukosten untersucht. Die Ergebnisse der Betrachtung sind dem Anhang zu entnehmen.

IGB Ingenieurgesellschaft mbH

i. V.



Dipl.-Ing. Holger Carlsen

i. A.



Dipl.-Ing. Gabriele Peters

ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1	Lagepläne
Anlage 1.1.1	Übersichtslageplan
Anlage 1.1.2	Übersicht Maßnahmengbiet Siethfeld
Anlage 1.2	Lage der Untergrundaufschlüsse Siethfeld
Anlage 1.2.1	Station 1+000 bis 1+450
Anlage 1.2.2	Station 1+450 bis 1+800
Anlage 1.2.3	Station 1+800 bis 2+250
Anlage 2	Ergebnisse der Untergrundaufschlüsse Siethfeld
Anlage 2.1	Längsschnitt Deichkrone
Anlage 2.1.1	Station 1+000 bis 1+450
Anlage 2.1.2	Station 1+450 bis 1+800
Anlage 2.1.3	Station 1+800 bis 2+250
Anlage 2.2	Querschnitte
Anlage 2.2.1	Querschnitt Station 1+100
Anlage 2.2.2	Querschnitt Station 1+250
Anlage 2.2.3	Querschnitt Station 1+400
Anlage 2.2.4	Querschnitt Station 1+600
Anlage 2.2.5	Querschnitt Station 1+800
Anlage 2.2.6	Querschnitt Station 2+000
Anlage 2.2.7	Querschnitt Station 2+150
Anlage 2.2.8	Querschnitt Station 2+250
Anlage 2.3	Querprofile
Anlage 2.3.1	Querprofile Station 1+100
Anlage 2.3.2	Querprofile Station 1+250
Anlage 2.3.3	Querprofile Station 1+400
Anlage 2.3.4	Querprofile Station 1+600
Anlage 2.3.5	Querprofile Station 1+800
Anlage 2.3.6	Querprofile Station 2+000
Anlage 2.3.7	Querprofile Station 2+150

Anlage 3	Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche
Anlage 3.1	Zusammenstellung
Anlage 3.2	Kornverteilungskurven
Anlage 3.3	Durchlässigkeitsversuch
Anlage 4	Ergebnisse der Standsicherheitsuntersuchungen
Anlage 4.1.1	Querprofil Station 1+100 FEM-Berechnungen
Anlage 4.1.2	Querprofil Station 1+100 Vergleichsrechnungen
Anlage 4.2.1	Querprofil Station 1+600 FEM-Berechnungen
Anlage 4.2.2	Querprofil Station 1+600 Vergleichsrechnungen
Anlage 4.3.1	Querprofil Station 2+150 FEM-Berechnungen
Anlage 4.3.2	Querprofil Station 2+150 Vergleichsrechnungen
Anhang 1	Sicherungsmaßnahmen am Mitteldeich, Varianten- und Kostenbetrachtung