



Deichverstärkung Eiderabdämmung – Eiderdamm Nord

Genehmigungsplanung Technischer Erläuterungsbericht

Bearbeitet

M.Sc. Jan Stolzenwald

Gezeichnet/Konstruiert

M.Sc. Jan Stolzenwald

Aufgestellt:

Husum, 15.12.2021



M.Sc. Jorne Heinrich
Fachbereichsleiter



<u>INHALTSVERZEICHNIS</u>	Seite
1. Veranlassung	4
2. Planungsgebiet	6
3. Grundlagen	7
3.1. Träger der Maßnahme	7
3.2. Vermessung	7
3.3. Wasserstände	8
3.4. Bemessungsgrundlagen.....	8
3.5. Baugrund	9
3.6. Schadstoffbelastung.....	9
3.7. Kampfmittelfreiheit	10
3.8. Leitungen und zu schützende Objekte	10
4. Örtliche Verhältnisse	12
4.1. Örtlichkeit	12
4.2. Deichbestick und -ausrüstung	12
4.3. Einbauten und Anlagen im Deichkörper	15
4.4. Entwässerungsanlagen	15
4.5. Benachbarte Bebauung.....	15
4.6. Angrenzende Deichabschnitte.....	15
4.7. Schutzgebiete	16
4.8. See- / landseitige Flächen.....	16
5. Variantenbetrachtung	17
5.1. Variantenbeschreibung	17
5.1.1. Variante A - Deckschichtsanierung Asphaltbauweise	17
5.1.2. Variante B - Deckschichtsanierung und Profilanpassung Asphalt-Mastix-Schotter....	18
5.1.3. Variante C - Deckschichtsanierung und Profilanpassung Betonsäulen/Betonformsteine	18
5.1.4. Variante D - Klimaprofil.....	20
5.1.5. Variante E - Profil Eiderdamm Süd	20
5.2. Variantenvergleich Küstenschutz	21
5.2.1. Variante A – Deckschichtsanierung Asphaltbauweise.....	21
5.2.2. Variante B – Deckschichtsanierung und Profilanpassung Asphalt-Mastix-Schotter...	21
5.2.3. Variante C – Deckschichtsanierung und Profilanpassung Betonsäulen/Betonformsteine	22
5.2.4. Variante D – Klimaprofil	22
5.2.5. Variante E – Profil Eiderdamm Süd.....	23
5.3. Variantenvergleich Wirtschaftlichkeit	23
5.4. Variantenvergleich Naturschutz.....	24
5.4.1. Orts- und Landschaftsbild	24
5.5. Wahl der Vorzugsvariante	24
6. Beschreibung Vorzugsvariante.....	26
6.1. Allgemeines	26
6.2. Linienführung	26
6.3. Anschlussprofile	26
6.4. Deichprofil	27
6.5. Deckwerk	28
6.6. Außenböschung.....	29

6.7.	Deichkrone.....	35
6.8.	Binnenböschung	36
6.9.	Deichrampen und Übergänge	36
6.10.	Deichverteidigungsweg/Radweg.....	36
6.11.	Entwässerungsanlagen.....	37
6.12.	Bodentnahmen	37
6.13.	Hafenbereich / Leitdamm.....	37
6.14.	Bereich zwischen Schleuse und Sperrwerk	38
6.15.	Einrichtungsflächen	38
6.16.	(Zwischen-) Lagerflächen	39
6.17.	Bauablauf / Bauzeiten / relevante Massenbewegung.....	39
6.18.	Bauzwischenzustände / Wintersicherung.....	42
6.19.	Zufahrtswege und Baustellenverkehr.....	42
6.20.	Kostenberechnung.....	43
7.	Zusammenfassung.....	44

1. Veranlassung

Das Land Schleswig-Holstein, endvertreten durch den Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz (LKN.SH) Betriebssitz Husum, plant auf einer Länge von rund 5,20 km die Verstärkung des Landesschutzdeiches „Eiderabdämmung“.

Das gesamte Vorhaben besteht aus zwei Teilen: dem nördlich des Eidersperrwerks gelegenen Abschnitt (Nordfriesland) sowie dem südlich gelegenen Abschnitt (Dithmarschen). Für diese beiden Abschnitte werden getrennte Zulassungsverfahren vorgesehen.

Der Planungsraum des hier behandelten nördlichen Abschnitts der „Eiderabdämmung“, der „Eiderdamm – Nord“ erstreckt sich von Küstenkilometer 151+650 (Anschlussbereich im Norden, Vollerwiek) bis 155+500 (Anschluss an die Nordseite des Eidersperrwerks). Die Kilometrierung „Eiderabdämmung“ beginnt gemäß Generalplan Küstenschutz bei Küstenkilometer 152+226. Der Abschnitt zwischen Küstenkilometer 151+650 und 152+226 umfasst den Anschluss- bzw. Übergangsbereich an den Landesschutzdeich des Abschnittes Vollerwiek. Dieser Abschnitt ist – wie der Abschnitt „Eiderdamm – Nord“ – mit einer Asphaltbefestigung versehen und weist ähnliche Schäden auf. Daher gehört dieser Übergangsbereich mit zum Planungsraum. Es ergibt sich folglich eine Baustationierung von -0+580 bis 3+270 mit dem Nullpunkt der Stationierung am Beginn der „Eiderabdämmung“ und somit eine Gesamtlänge des Abschnittes „Eiderdamm – Nord“ von 3,85 km.

Im südlichen Abschnitt der „Eiderdämmung“ wurden in den Jahren 2019 / 2020 umfangreiche Küstenschutzmaßnahmen durchgeführt. Der südliche Abschnitt ist somit nicht Teil der vorliegenden Planung.

Die Grundsätze des Küsten- und Hochwasserschutzes sind in den §§ 57 ff des Landeswassergesetzes (LWG) in der Fassung vom 13.11.2019 (gültig seit 01.01.2020) enthalten. Der Bau, die Verstärkung und die Unterhaltung von Landesschutzdeichen obliegt gem. § 60 Abs. 1 Nr. 1 LWG dem Land Schleswig-Holstein.

Nach § 102 LWG ist der Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz des Landes Schleswig-Holstein (LKN.SH) die zuständige untere Küstenschutzbehörde und das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein (MELUND.SH) die zuständige oberste Küstenschutzbehörde.

Der Sicherheitsstandard und die zugehörigen Bemessungsgrundlagen der Landesschutzdeiche wurden gem. § 66 Abs. 2 LWG von der obersten Küstenschutzbehörde (MELUND.SH) im „Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein (Fortschreibung 2012)“ festgelegt. Der Generalplan wird i.d.R. alle zehn Jahre fortgeschrieben und ist die für den Küstenschutz verbindliche Planungsgrundlage.

Der Bemessungswasserstand bezieht sich auf das für das Jahr 2020 hochgerechnete lokale HW_{200} zuzüglich eines Klimazuschlages in Höhe von 0,5m. Für diesen Wasserstand und unter Zugrundelegung eines klassischen, sich nach oben versteilenden Deichprofils wird die Deichkronenhöhe ermittelt, bei der die Überlaufrate den Wert von 0,5 l/m*s nicht überschreitet.

Die gewässerkundliche Sicherheitsüberprüfung des Eiderdammes im Rahmen der Erstellung des Generalplans Küstenschutz 2012 ergab eine Überlaufrate von maximal ca. 0,5 l/s*m, weshalb der Deichabschnitt nicht in die Prioritätenliste aufgenommen wurde. Bei einer späteren technischen Überprüfung des Landesschutzdeiches wurde jedoch festgestellt, dass der asphaltierte Deich gravierende Schäden aufweist. Die gesamte Länge der Asphaltoberfläche ist an den Quer- und Längsfugen ca. alle 25m aufgerissen und es gibt Sandaustrag aus dem Deichkern sowie Absackungen. Die ursprünglich errichtete Deichkronenhöhe von +8,70mNHN ist auf der gesamten Strecke des Deiches nicht mehr vorhanden. Durch die beschriebenen Schäden weist der Deich teilweise eine Höhe von +8,30mNHN oder niedriger auf. Aus diesen Gründen ist die Wehrfähigkeit bei einem HW_{200} nicht mehr gewährleistet. Weitere Absenkungen sind ohne Ertüchtigungsmaßnahmen zu erwarten, wodurch auch die Wehrfähigkeit des Deiches weiter abnehmen würde. Entsprechend wurde der Deichabschnitt nachträglich in die Prioritätenliste der zu verstärkenden Landesschutzdeiche aufgenommen.

2. Planungsgebiet

Das Planungsgebiet der Küstenschutzmaßnahme „Deichverstärkung Eiderabdämmung – Eiderdamm Nord“ liegt in der Mündung der Eider in die Nordsee und verbindet die Landkreise Dithmarschen im Süden mit der Halbinsel Eiderstedt in Nordfriesland im Norden an der Westküste Schleswig-Holsteins. Das Planungsgebiet liegt überwiegend im Kreis Nordfriesland im Gemeindegebiet Tönning und Vollerwiek im nördlichen Anschlussbereich. Im Südlichen Anschlussbereich des Deiches an das Sperrwerk liegt der Deichabschnitt zwischen Schleuse und Sperrwerk im Kreis Dithmarschen im Gemeindegebiet Wesselburenerkoog.

Alle Flurstücke, die durch die Deichverstärkung betroffen sind, sind im Eigentum des Landes Schleswig-Holstein (Küstenschutzverwaltung, Straßenbauverwaltung) sowie im Anschluss an das Sperrwerk im Eigentum der Bundesrepublik Deutschland (Bundeswasserstraßenverwaltung).

Gemäß Generalplan Küstenschutz schützt die Eiderabdämmung ein ca. 5.000 ha großes überflutungsgefährdetes Gebiet mit Sachwerten in Höhe von ca. 155 Mio. € (gemäß Anlage 3, Abschnitt Nr. 43,01 des Generalplan Küstenschutz – Fortschreibung 2012).



Abbildung 1: Übersichtsplan Eidermündung

3. Grundlagen

3.1. Träger der Maßnahme

Träger der Maßnahme ist das Land Schleswig-Holstein, endvertreten durch den Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein, Betriebssitz Husum, Herzog-Adolf-Straße 1 in 25813 Husum (Tel.: 04841 / 667-0, Fax: 04841 / 667-115).

3.2. Vermessung

Grundlage für die Planung und Massenermittlung bildet das 2013 mittels Laserscan-Befliegung erzeugte Digitale Geländemodell mit einer Gitterweite von 1 x 1 m bei einer ursprünglichen Rohdaten-Dichte von mindestens vier Messpunkten pro Quadratmeter.

Die Lagegenauigkeit des luftgestützten Laserscannings (ALS) liegt üblicherweise bei etwa 30 cm. Die Höhengenaugigkeit ist u.a. abhängig von der Bodenrauigkeit. Bei glattem Gelände (keine Vegetation) kann sie mit 5-10 cm angenommen werden, bei stärkerem Bewuchs oder auf Steinschüttungen 10-30 cm. Bei dichtem Bewuchs ohne Bodendurchsicht kann es auch zu einer systematischen Verschiebung der Höhe nach oben kommen.

Wegen möglichen großräumigen Lage- und Höhenfehlern der ALS-Daten durch unzulängliche Aufnahmebedingungen oder Datenkalibrierungen ist es erforderlich, die Daten bzw. die aus dem DGM gewonnenen Querprofile mit geeigneten Referenzmessungen des LKN.SH abzugleichen. Um die Genauigkeit der Daten aus den Laserscanmessungen zu verfeinern sind zusätzliche Aufmaße mittels GNSS-Messungen entlang relevanter Bruchkanten durchzuführen.

Da der Eiderdamm eine Asphaltbefestigung mit nur vereinzeltem Bewuchs aufweist ist die Genauigkeit der Laserscandaten als gut einzuschätzen. Die Daten der Laserscanbefliegung bzw. die aus diesen Daten erstellten DGMS und Querprofile wurden mit GNSS-Aufmaßen des LKN.SH abgeglichen. Hier konnten keine gravierenden höhenbedingten Abweichungen festgestellt werden.

Um die Genauigkeit der Daten aus den Laserscanmessungen zu verfeinern, wurden zusätzliche GNSS-Aufmaße entlang relevanter Bruchkanten (Übergang Schüttsteindeckwerk zu Asphaltbefestigung, Entwässerungsmulde binnendeichs etc.) durchgeführt.

3.3. Wasserstände

Folgende Wasserstände wurden gemäß der Messstelle Eidersperrwerk außen (Pegel wird von der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes betrieben) im Beobachtungszeitraum von November 2005 bis November 2015 aufgezeichnet:

MThw = +1,58mNHN

MTnw = -1,45mNHN

Des Weiteren sind noch Extremwasserstände in diesem Zeitraum zu nennen.

HThw = +4,46mNHN (06.12.2013)

NTnw = -2,64mNHN (23.03.2013)

Der örtliche Referenzwasserstand HW_{200} liegt bei +5,50mNHN; der Bemessungswasserstand BHW_{200} für die Deichverstärkung entsprechend bei +6,00mNHN.

Wasserstände:	MThw	+1,58mNHN
	MTnw	-1,45mNHN
	HThw	+4,46mNHN (06.12.2013)
	NTnw	-2,64mNHN (23.03.2013)
Referenzwasserstand:	RHW_{200}	+5,50mNHN
Bemessungswasserstand:	BHW_{200}	+6,00mNHN

Tabelle 1: relevante Wasserstände

3.4. Bemessungsgrundlagen

Der Bemessungswasserstand BHW_{200} setzt sich zusammen aus einem auf der Grundlage eines 200-jährigen Hochwassers ermittelten Sturmflutwasserstand (Generalplan Küstenschutz 2012 Anlage 3: Referenzwasserstand 2020 HW_{200} : + 5,50 mNHN) und einem Klimazuschlag von 50 cm.

Der BHW_{200} für den Abschnitt Eiderabdämmung beträgt somit + 6,00 mNHN.

Die Neubemessung erfolgt gemäß Generalplan 2012 nach dem Konzept „Baureserven“. In Abweichung davon ist die erforderliche Deichkronenhöhe mit dem EurOtop-Verfahren für eine maximal zulässige Wellenüberlauftrate von 0,5 l/s*m zu bemessen. Weiterhin muss die neue Deichkrone, in Anbetracht verbleibender Unsicherheiten in der Bemessung und aus wirtschaftlichen Gründen, nach ihrer Verstärkung immer um mindestens 0,3 m höher sein als vor der Verstärkung sowie auf Dezimeter aufgerundet werden.

Bemessen werden verschiedene Deichverstärkungsvarianten um die technisch, wirtschaftlich und naturschutzfachlich optimale Variante zu erzielen. Es ergeben sich unterschiedliche Varianten die an die Örtlichkeit angepasst sind.

Zusätzlich werden für befestigte Böschungen Berechnungen durchgeführt in Hinblick auf

- Erforderliche Dicke der Deckschicht
- Anordnung von Rauigkeitselementen auf der Außenböschung zur Reduzierung des Wellenaufbaus

3.5. Baugrund

Im Oktober 2016 wurde der Geotechnische Bericht (Nr. 2016/02) zur geplanten Deichverstärkung im Bereich der Eiderabdämmung vom Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR), Abteilung geologischer Dienst aus Flintbek vorgelegt.

Grundlage des Berichtes sind Rammkernsondierbohrungen zum Baugrundaufschluss, die im Zeitraum Mai bis August 2016 von der Firma GTC Nord aus Hannover ausgeführt wurden. Die Bohrungen wurden auf dem Bestandsdeich am Deckwerksfuß, auf der Außenböschung und auf der Deichkrone durchgeführt.

Zusammenfassend lässt sich der Baugrund des Landesschutzdeiches wie folgt beschreiben:

Bei dem Deichkörper und Untergrund handelt es sich um überwiegend holozäne Marschablagerungen (Klei und Wattsand), die in größeren Tiefen von pleistozänen Ablagerungen unterlagert werden.

Zudem wurden Standsicherheitsuntersuchungen unter Berücksichtigung des Deichprofils welches am „Eiderdamm – Süd“ umgesetzt wurde durchgeführt. Bei der Umsetzung dieses Deichprofils im Planungsabschnitt „Eiderdamm – Nord“ wären umfangreiche mehrjährige Vorbelastungen auf der Deichaußenböschung notwendig um die Standsicherheit des Deichprofils nachweisen zu können.

Aufgrund der geänderten Planung des LKN.SH hat das LLUR weitere Standsicherheitsuntersuchungen durchgeführt und mit der Stellungnahme vom 17.02.21 dokumentiert. Die Empfehlungen und Hinweise aus dem Gutachten sind in die weitere Planung des LKN.SH eingeflossen.

3.6. Schadstoffbelastung

2015 wurden im Auftrag des LKN.SH durch eine anerkannte Prüfstelle insgesamt 12 Bohrkerne entnommen und hinsichtlich der Verwertungsklasse untersucht. Es wurden an je 4 Deichprofilen jeweils eine Probe auf der Außenböschung, der Deichkrone und der Binnenböschung entnommen. Die Arbeiten wurden von der HNL Ingenieur- und Prüfgesellschaft durchgeführt und mit dem Prüfbericht Nummer 1/0682/2015 protokolliert.

Für die Bewertung der untersuchten Asphaltproben wurden die Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau, RuVA-StB 01, Fassung 2005 herangezogen.

Gemäß den Richtlinien und Untersuchungsergebnissen sind die entnommenen Proben der Verwertungsklasse A zuzuordnen. Asphaltproben der Verwertungsklasse A werden einem Straßenbaustoff der Art Ausbauasphalt zugeordnet. Für Ausbauasphalte welche als Asphaltgranulat verwendet werden, wird nach RuVA-StB 01 das Verwertungsverfahren „Heißmischverfahren“ empfohlen. Auch die Verwertungsverfahren „Kaltmischverfahren mit Bindemitteln“ sowie „Kaltverarbeitung ohne Bindemittel“ können angewendet werden.

3.7. Kampfmittelfreiheit

Die Landesverordnung zur Abwehr von Gefahren für die öffentliche Sicherheit durch Kampfmittel (Kampfmittelverordnung) vom 7. Mai 2012 listet in Anlage 1 alle Gemeinden Schleswig-Holsteins auf, deren Gebiete mit Kampfmittel belastet sind oder sein können. Für Grundstücke in betroffenen Gemeinden ist eine Auskunft über mögliche Kampfmittel beim Kampfmittelräumdienst Schleswig-Holstein einzuholen.

Der Eiderdamm Nord befindet sich auf dem Gebiet der Stadt Tönning, der Gemeinde Vollerwiek sowie Wesselburenerkoog. In der Auflistung der Gemeinden mit bekannten Bombenabwürfen (Anlage 1 Kampfmittelverordnung) sind diese Gemeinden nicht aufgeführt.

Zufallsfunde von Munition sind jedoch nicht gänzlich auszuschließen.

3.8. Leitungen und zu schützende Objekte

Landesstraße L 305 / Radweg

Auf der Binnenseite des Deiches verläuft auf der Berme parallel zum Deich die Landesstraße 305 sowie ein Radweg. Da der Radweg direkt an die Binnenböschung sowie Entwässerungsmulde anschließt, muss dieser während der Bautätigkeit als Baustraße verwendet werden. Da durch die Bautätigkeit eine erhebliche Schädigung des Weges nicht ausgeschlossen werden kann, wird dieser im Zuge der Baumaßnahme komplett erneuert werden.

Entwässerungsanlagen

Am Deichfuß der Binnenböschung verläuft eine Entwässerungsmulde mit Ablaufschächten im Abstand von 60 m. Von diesen Schächten aus wird das Niederschlagswasser durch Rohre unter der Landesstraße hindurchgeführt und entwässert in das Katinger Watt. Die Entwässerungsmulde wird im Zuge der Baumaßnahme komplett erneuert. Selbiges gilt für die Schachtbauwerke. Lediglich die Rohrleitungen unterhalb der Landesstraße werden nicht erneuert und sind daher zu schützen.

Hafen

Im Südlichen Anschlussbereich des Deiches an das Sperrwerk befindet sich vor der Schleuse eine Hafenanlage. Die nördliche Begrenzung der Hafenanlage bildet ein Leitdamm. Dieser Asphaltbefestigte Teil der Hafenanlage wird im Zuge der Deichverstärkung mit einer neuen Oberfläche versehen – analog zur Deichverstärkung. Die Kaianlagen (Betonkonstruktion mit Spundwandverbau) sind nicht Teil der Deichverstärkung und dementsprechend zu schützende Bauwerke. Selbiges gilt für die Beleuchtungsanlagen im Hafenbereich.

Schleuse

Zwischen Landesschutzdeich und Sperrwerk befindet sich ein Schleusenbauwerk. Diese Schleuse ist nicht Bestandteil der Deichverstärkung und daher ein zu schützendes Bauwerk.

Sperrwerk

Den südlichen Abschluss der Deichverstärkung bildet das Eidersperrwerk. Zur Deichverstärkung gehört der Deichabschnitt zwischen Schleuse und Sperrwerk. Am Sperrwerk endet der zu verstärkende Abschnitt. Das Sperrwerk an sich ist nicht Teil dieser Deichverstärkung und somit ein zu schützendes Bauwerk.

Vermessungsfestpunkt

Bei Baustation 3+000 befindet sich ein Vermessungsfestpunkt auf der Außenböschung. Der Vermessungsfestpunkt bzw. Beobachtungspfeiler dient der Bauwerksinspektion des Eidersperrwerkes und muss geschützt und erhalten werden.

Deichverteidigungsweg Vollerwiek / Straße Süderdeich

Im Anschlussbereich Vollerwiek im Norden der Deichverstärkung verläuft zwischen Baustation -0+580 und -0+300 parallel zur Deichbinnenböschung die öffentlich zugängliche Straße Süderdeich die zudem in diesem Bereich als DV-Weg dient. Zwischen Deichfuß und Straße liegt ein Grünstreifen von ca. 2,00m. Die Straße soll während der Baumaßnahme durchgängig befahrbar bleiben. Aufgrund des Abstandes des Deichfußes und der Straße wird eine Umsetzung der Baumaßnahme ohne Auswirkungen auf die Straße als realistisch eingestuft. Aufgrund der Bautätigkeit kann es aufgrund von Baustellenabsperungen zu einer Reduzierung der Fahrbahnbreite kommen bzw. zu kurzzeitigen Vollsperrungen der Straße. Die Straße ist zu schützen und zu erhalten.

4. Örtliche Verhältnisse

4.1. Örtlichkeit

Der Landesschutzdeich an der Eiderabdämmung ist in den Jahren von 1968 - 1973 gebaut worden. Das Eidersperrwerk, welches den Landesschutzdeich in einen Nord- und Südteil aufteilt, ist in den Jahren 1967 - 1973 gebaut worden. Hinter dem Landesschutzdeich liegt die Landesstraße L305, die mittels eines 200m langen Tunnels durch das Eidersperrwerk Nordfriesland mit Dithmarschen verbindet. Vor dem Landesschutzdeich liegen Wattflächen, die teilweise im Bereich des Deichfußes Höhenlagen über dem MThw aufweisen. Der „Eiderdamm – Nord“ schließt im Norden an den Deichabschnitt Vollerwiek an. Das Deichprofil des Abschnittes Vollerwiek ist ein klassisches Deichprofil, abgedeckt mit einer begrüntem Kleischicht. Der Übergangsbereich zwischen Eiderabdämmung und dem begrüntem Deichabschnitt ist mit einer Asphaltdeckschicht abgedeckt. Im Süden schließt der Abschnitt an die Schleuse sowie den außendeichs gelegenen Hafenbereich (Leitdamm Nord) an. Zudem beinhaltet das Planungsgebiet den ca. 30 m langen Übergangsbereich zwischen Schleuse und Sperrwerk. Insgesamt umfasst das Planungsgebiet 3,85 km Deichlänge.

Die letzten ca. 300 m des Deiches vor dem Eidersperrwerk inklusive des Leitdamm Nord am Hafen befinden sich auf Grundstücken der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). Vertraglich ist zwischen dem Land Schleswig-Holstein und dem Bund festgehalten, dass das Land für die Unterhaltung des Deiches zuständig ist. Daher befindet sich dieser Bereich im Planungsgebiet.

4.2. Deichbestick und -ausrüstung

Allgemeiner Deichaufbau

Der vorhandene Deich besitzt einen Kern aus Spülsand. Die Abdeckschicht des gesamten Deichkörpers besteht aus Asphaltgrobbleton. Die Deichabdeckung weist sowohl in der Fläche als auch im speziellen an den Fertigungsnahten der Asphaltdeckschicht (Quernähte ca. alle 25 m, Längsnähte entlang der Deichkrone) eine erhebliche Rissbildung auf. Der Asphaltgrobbleton wurde 2015 mittels Bohrkernentnahme beprobt und weist keine Belastung auf. Der Deichfuß ist mit einem vollvergossenen Schüttsteindeckwerk versehen inkl. offener Steinschüttung als Fußvorlage.

Der Deich verfügt somit über eine durchgängig wasserundurchlässige Deichabdeckung. Die maßgebenden Beanspruchungen für die Bemessung dichter Deckschichten sind zum einen der Wellenschlag, zum anderen der Wasserüberdruck im inneren des Deichkörpers infolge von wechselnden Außenwasserständen. Bei Flut dringt das Wasser über den Untergrund von der Außenseite in den Sandkern ein und hebt den Grundwasserspiegel im Deichkörper an. Mit schnell fallendem Außenwasserstand bei Ebbe, besonders nach hohen Sturmflutwasserständen, entsteht im Deichkern ein Wasserüberdruck, da der Grundwasserspiegel infolge der geringen Durchlässigkeit der

Abdeckschicht sowie unterhalb des Deiches anstehenden Bodens langsamer absinkt. Die Deichabdeckung muss daher so bemessen sein, dass sie mit ihrem Gewicht den Innenwasserdruck Stand hält und noch genügend Reibung auf der Unterseite erzeugt, um ein Abrutschen auf der Böschung zu verhindern. Dies gilt sowohl für die Asphaltbefestigung der Böschungen als auch für die Fußsicherung mittels vollvergossenen Schüttsteindeckwerkes. Je dichter die Deichabdeckung ist, desto geringer fällt der Wassereintrag in den Sandkern und somit bei fallenden Wasserständen der Wasserüberdruck im Deichkern aus.

Grundsätzlich sind komplett dichte Deichabdeckung und vollvergossene Deckwerke nicht zu empfehlen, da jeglicher Wasserüberdruck lediglich über den Untergrund abgebaut werden kann. Kommt es zu Veränderungen im Untergrund, beispielsweise durch Auflandungen im Deichvorland, kann sich unter Umständen die Entwässerungssituation über den Untergrund verändern. Seit dem Bau der Eiderabdämmung hat sich jedoch gezeigt, dass an dieser Stelle die vorhandene Konstruktion den Anforderungen gerecht wird.

Messungen des Porenwasserdruckes im Sandkern des Ringdeiches (Deich um die Bauinsel für das Eidersperrwerk) bei dessen Bau 1968 ergaben, dass bei der vorliegenden Durchlässigkeit von Sandkern und Untergrund sich kein nennenswerter Wasserüberdruck aufbauen konnte. Die Dickenbemessung des Deckwerkes beschränkte sich daher damals auf die Beanspruchung durch Wellenschlag.

Deichkrone

Die Deichkronenhöhe liegt im gesamten Verlauf der Strecke zwischen +8,00mNHN und +9,00mNHN. Die Breite der gewölbten Deichkrone beträgt ca. 2,00m. Die Asphaltdeckschicht hat eine Stärke von 10 bis 15 cm.

Außenböschung

Die Außenböschung weist eine konstante Neigung von 1:6 auf. Oberhalb von +6,50mNHN hat die Asphaltdeckschicht eine Stärke von 15 cm, unterhalb von +6,50mNHN bis zum Schüttsteindeckwerk am Deichfuß 20 cm.

Deichfuß

Die Deichfußbefestigung des scharliegenden Deichs besteht aus einem vollvergossenen Granitsteindeckwerk. Die Oberkante des Deckwerkes liegt bei ca. +3,00mNHN. Mit einer Neigung von 1:4 reicht das Deckwerk bis ca. +0,50mNHN, wobei die Wattoberkante bei ca. +1.50mNHN liegt. An den Deckwerksfuß schließt eine offene Fußvorlage aus einem Nylon-Gewebe mit Schüttsteinbewurf an.

Das Deckwerk wurde in den letzten 40 Jahren auf der gesamten Streckenlänge kontinuierlich unterhalten und befindet sich in einem technisch guten Zustand.

Binnenböschung

Die Binnenböschung weist eine Neigung von 1:3 auf und ist mit einer 10 cm starken Asphaltgrob-
betonschicht befestigt.

Innenberme

Die Innenberme hat eine durchschnittliche Breite von 15,00m und liegt durchschnittlich ca. 2,50m über MThw. Die Innenberme sollte nach den Empfehlungen für Küstenschutzwerke 2002 (EAK) mindestens 0,5m, besser 1,00m über MThw liegen, damit sie im Katastrophenfall ihrer Funktion der Deichverteidigung gerecht werden kann. Die vorhandene Höhe der Innenberme ist somit ausreichend. Die Binnenberme beinhaltet sowohl eine gepflasterte Entwässerungsmulde am Deichfuß also auch einen ca. 2 m breiten Radweg, einen 3 m breiten begrünten Seitenstreifen als auch die 7,50 m breite Landesstraße 305.

Rampen

Im überplanten Bereich befinden sich drei Deichrampen. Eine Rampe befindet sich im nördlichen Anschlussbereich Vollerwiek (Rampe Eiderstedt Nord). Die Rampe führt in Asphaltbauweise vom Deichverteidigungsweg über die Deichkrone bis zum Treibselabfuhrweg des grünen Deiches am Ende des überplanten Bereiches. Eine zweite Rampe befindet sich ca. 300m südlich der zuvor erwähnten Rampe. Diese Rampe (Rampe Eiderstedt Süd) verbindet den Deichverteidigungsweg mit der Deichkrone. Die dritte Rampe befindet sich im südlichen Anschlussbereich am Hafenge-
lände. Diese Rampe (Rampe Hafenerschließung) verbindet die Landesstraße mit dem außen-
deichs gelegenen Hafen und liegt auf dem Gelände des Wasser- und Schifffahrtsamtes.

Deichabdeckung	: Asphaltgrob- beton
Deichkrone	: +8,00mNHN bis +9,00mNHN (soll +9,00mNHN) Breite ca. 2,00m (gewölbte Deichkrone)
Außenböschung	: Neigung 1:6
Innenböschung	: Neigung 1:3
Deichverteidigungsweg	: Landesstraße 305
Treibselabfuhrweg	: nicht vorhanden, Böschung befestigt und befahrbar
Fußsicherung	: vollvergossenes Schüttsteindeckwerk Neigung 1:4 Fußvorlage offene Steinschüttung auf Gewebe
Seeseitiges Gelände	: Wattflächen / Salzwiesen (OK bei ca. +1,50mNHN)
Landseitiges Gelände	: Naturschutzgebiet Katinger Watt
Deichentwässerung	: über Entwässerungsmulde an Binnenböschungsfuß über Schächte wird das Wasser unter der Landesstraße in Gräben des Naturschutzgebietes abgeführt

Tabelle 2: Deichbestick Bestand

4.3. Einbauten und Anlagen im Deichkörper

Leitdamm am Hafengelände

Das Hafengelände wird nördlich durch einen Leitdamm begrenzt. Der Leitdamm ist nahtlos mit dem Landesschutzdeich verbunden. Der Aufbau des Leitdammes ist analog zum Aufbau des Landesschutzdeiches und weist ebenso erhebliche Schäden in der Asphaltdeckschicht auf.

Schleuse / Anschluss Sperrwerk

Im Bereich des Hafengeländes wird der Landesschutzdeich durch eine Schleuse gequert. Die Schleuse ist in ihrer Unterhaltung dem Wasser- und Schifffahrtsamt zugeordnet und explizit nicht Teil des zu überplanenden Bereiches. Der Deichabschnitt zwischen Schleuse und Beginn des Sperrwerkes ist auf ca. 30 m Länge noch Bestandteil des zu überplanenden Bereiches. Dieser Abschnitt hat den gleichen Aufbau wie der Landesschutzdeich nördlich der Schleuse.

4.4. Entwässerungsanlagen

Am Fuß der Innenböschung befindet sich eine Rinne aus Pflastersteinen zur Entwässerung des Radweges und der Deichinnenböschung. Das Wasser wird über Straßenabläufe, die unter der Landesstraße L305 in das Katinger Watt durchführen, abgeleitet.

4.5. Benachbarte Bebauung

Binnendeichs verläuft auf fast gesamter Länge ein Radweg sowie die Landesstraße L 305 parallel zum Deich auf der Binnenberme des Deiches. Beide Anlagen befinden sich in der Zuständigkeit des Landesbetriebes Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein (LBV.SH).

Im Süden schließt die Deichverstärkung direkt an das Eidersperrwerk an sowie der Leitdamm an die Hafenskaie. Die Unterhaltung sowie Instandhaltung der Hafenskaie sowie des Sperrwerkes befinden sich in der Zuständigkeit der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV).

Im Anschlussbereich Vollerwiek im Norden der Deichverstärkung verläuft zwischen Baustation -0+580 und -0+300 parallel zur Deichbinnenböschung die öffentlich zugängliche Straße Süderdeich die zudem in diesem Bereich als Deichverteidigungsweg dient.

4.6. Angrenzende Deichabschnitte

Nördlich angrenzender Deichabschnitt

Im Norden schließt der zu überplanende Landesschutzdeich an den Deichabschnitt Vollerwiek an. Das Deichprofil des Abschnittes Vollerwiek ist ein klassisches, zur Deichkrone hin sich versteilendes Deichprofil, abgedeckt mit einer begrüntem Kleischicht, einer Wellenüberschlagssicherung sowie einem verklammerten Schüttsteindeckwerk. Es weist eine mittlere Deichneigung von 1:7 bei

einer mittleren Kronenhöhe von 8,65mNHN auf. Dieser Deichabschnitt wurde zuletzt 1974 verstärkt.

Südlich angrenzender Deichabschnitt

Im Süden schließt der zu überplanende Landesschutzdeich an das Eidersperrwerk mit einer Kronenhöhe von +10,30mNHN an und südlich davon an den Abschnitt „Eiderdamm Süd“ mit einer Deichkronenhöhe von +9,00mNHN der 2019/2020 verstärkt wurde.

4.7. Schutzgebiete

Nationalpark

Der Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer ist mit einem Abstand von 150 m von der seeseitigen Kante der Deichkrone abgegrenzt.

Natura 2000

Außendeichs grenzt das FFH-Gebiet „Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer und angrenzende Küstengebiete“ an. Binnendeichs befindet sich das FFH-Gebiet „Untereider“. Beide FFH-Gebiete sind gleichzeitig als EU-Vogelschutzgebiet „Ramsar-Gebiet Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer und angrenzende Küstengebiete“ unter europäischen Schutz gestellt.

Biosphärenreservat

Der Nationalpark ist ferner Teil des von der UNESCO im Jahr 2005 nach dem Man & Biosphere-Programm anerkannten Biosphärengebietes „Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer und Halligen“.

Details zu den Schutzgebieten sind den naturschutzfachlichen Unterlagen zu entnehmen.

4.8. See- / landseitige Flächen

Seeseitige Flächen

Seeseitig des Deiches hat sich ein Vorland durch stetige Auflandung gebildet. Dieses besteht zum Teil aus Wattflächen, höher liegende Bereiche haben eine Salzwiesenvegetation ausgebildet.

Landseitige Flächen

Landseitig der auf der Berme des Deiches verlaufenden Landesstraße 305 schließt das Katinger Watt an, eine Feuchtwiesenlandschaft welche sich nach der Eindeichung gebildet hat.

5. Variantenbetrachtung

5.1. Variantenbeschreibung

Bei der Verstärkung des Landesschutzdeiches „Eiderabdämmung“ im Abschnitt „Eiderdamm – Nord“ ergibt sich der Verstärkungsbedarf aus der Beschaffenheit der vorhandenen Deichabdeckschicht aus Asphaltgrobbleton und der teilweise abgesackten Deichkrone.

Die Asphaltdeckschicht des Deiches weist eine erhebliche Rissbildung auf. Da unter der Asphaltgrobbletondeckschicht feiner Spülsand als Deichkernmaterial verwendet wurde, wurde in Teilbereichen bereits Sand ausgespült und es besteht die Gefahr, dass weiterer Sand durch die Risse ausgespült wird und die Deichstruktur ihre Stabilität verliert. Aus diesem Grund besteht erhöhter Handlungsbedarf. Somit wird die Nullvariante (Deich bleibt bestehen wie er derzeit ist) nicht betrachtet.

Im Folgenden werden mögliche Varianten einer Deichverstärkung kurz erläutert. Bei allen betrachteten Varianten bleibt der binnenseitige Deichfuß in seiner jetzigen Lage bestehen. Eine Binnendeichverstärkung ist aufgrund der räumlichen Lage der Landesstraße 305 nicht möglich bzw. nur bei einer Verlegung der Landesstraße umsetzbar. Zur Visualisierung des Sachverhaltes wurde die Binnendeichverstärkung in das Querprofil der zu betrachtenden Varianten mit aufgenommen, wird jedoch textlich nicht weiter betrachtet. Es werden nur Varianten betrachtet bei denen es sich um Außendeichverstärkungen oder Verstärkungen innerhalb der Deichbasis handelt.

Aufgrund des Konzeptes der Baureserve werden neben einer reinen Deckschichtsanierung verschiedene Varianten untersucht, die eine Baureserve vorsehen bzw. den Klimawandel mitberücksichtigen und den Deich somit zukunftssicher ausgestalten.

Bei allen Varianten sind Grundstücke des Landesbetriebes Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein (LBV.SH) und der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) betroffen bzw. liegen innerhalb des zu überplanenden Bereiches. Angrenzend an den Binnendeichfuß schließt das Grundstück des LBV.SH an. Auf diesem liegen der Radweg, Grünstreifen und die Landesstraße 305. Der Radweg wird aller Voraussicht nach durch die Bautätigkeit am Landesschutzdeich Beschädigungen aufweisen und im Zuge der Baumaßnahme erneuert werden.

Südlich der Baustation 3+000 bis zum Bauende befinden sich sowohl der Deich als auch der anschließende Hafengebiet auf Grundstücken der WSV des Bundes.

5.1.1. Variante A - Deckschichtsanierung Asphaltbauweise

Bei der Variante A soll ausschließlich nur die vorhandene Asphaltbefestigung der Außenböschung, Deichkrone, Binnenböschung, Deichrampen und auf dem Hafengelände erneuert werden. Das

vorhandene vollvergossene Schüttsteindeckwerk soll bestehen bleiben. Ebenso erfolgt keine Profilanpassung oder Kronenerhöhung. Es handelt sich um eine reine Deckschichtsanierung. Das Gesamtsystem des Deiches wird nicht verändert. Der Wellenüberlauf bei dieser Variante beträgt für das BHW_{200} 5 l/m*s und liegt somit oberhalb des geforderten Wertes von 0,5 l/m*s. Darüber hinaus wird die geforderte Mindesthöhung um 0,30 m nicht umgesetzt.

5.1.2. Variante B - Deckschichtsanierung und Profilanpassung Asphalt-Mastix-Schotter

Das Deichprofil wird zwischen der binnendeichs gelegenen Entwässerungsmulde und der Fußvorlage des vollvergossenen Schüttsteindeckwerks außendeichs entwickelt.

Die Deichkrone wird auf +9,00mNHN erhöht. Die über die Zeit eingetretenen Setzungen der Deichkrone werden somit ausgeglichen. Gemäß den Vorgaben zur Bemessung von Landesschutzdeichen des MELUND ist die Deichkrone nach der Verstärkung um mindestens 0,30 m höher. Für das BHW_{200} ergibt sich ein Wellenüberlauf von 0,0 l/s*m, womit der zulässige Höchstwert von 0,5 l/s*m unterschritten wird. Die Deichkrone soll mit einer Breite von 4 m und einem asphaltierten Deichkronenweg versehen werden. Die Krone kann als zukünftige Ausbaureserve für eine Kappenausbildung gemäß Klimaprofil genutzt werden.

Aufgrund der Erhöhung und Verbreiterung der Deichkrone müssen bei der Verstärkung die Böschungen steiler als bisher vorhanden geplant werden. Da die Böschungen befestigt werden sollen, können steilere Böschungsneigungen als bei unbefestigten Böschungen angesetzt werden. So soll die Binnenböschung eine Neigung von 1:2,5 erhalten. Somit ist eine Außenböschung mit einer Neigung von 1:5,5 umsetzbar.

Die Deichböschungen sollen mit Asphalt-Mastix-Schotter auf einer Bitumensandschicht befestigt werden. Bei Asphalt-Mastix-Schotter Deckwerken handelt es sich um Deckwerke mit einer hohen Wasserdurchlässigkeit. Bei erhöhten Wasserständen und Niederschlagsereignissen wird der Grundwasserspiegel im Deichkern im Vergleich zum jetzigen Zustand deutlich ansteigen. Bei sinkenden Außenwasserständen wird sich somit der Wasserdruck an der Unterseite des vorhandenen vollvergossenen Schüttsteindeckwerkes deutlich erhöhen. Um die Standsicherheit des Deckwerkes gewährleisten zu können, muss das vorhandene Deckwerk geöffnet werden bzw. durch ein neues teilvergossenes Deckwerk ersetzt werden.

5.1.3. Variante C - Deckschichtsanierung und Profilanpassung Betonsäulen/Betonformsteine

Bei der Variante C handelt es sich um eine Basisdeichverstärkung. Das Deichprofil wird zwischen der binnendeichs gelegenen Entwässerungsmulde und dem vollvergossenen Schüttsteindeckwerk außendeichs entwickelt.

Durch Auflandung im Wattbereich vor dem Deich ist mehr als die Hälfte des vorhandenen Deckwerkes von Wattflächen überlagert. Das Schüttsteindeckwerk wurde regelmäßig unterhalten und befindet sich in einem guten Zustand. Die Variante sieht daher vor, das Deckwerk bestehen zu lassen und daran mit einer neuen Deichbefestigung anzuschließen.

Die Deichkrone wird auf +9,00mNHN erhöht. Die über die Zeit eingetretenen Setzungen der Deichkrone werden somit ausgeglichen. Gemäß den Vorgaben zur Bemessung von Landesschutzdeichen des MELUND ist die Deichkrone nach der Verstärkung um mindestens 0,30 m höher. Für das BHW_{200} ergibt sich ein Wellenüberlauf von 0,0 l/s*m, womit der zulässige Höchstwert von 0,5 l/s*m unterschritten wird. Die Deichkrone soll mit einer Breite von 4 m und einem asphaltierten Deichkronenweg versehen werden. Die verbreiterte Deichkrone bietet verschiedenen Möglichkeiten für zukünftige Ausbaureserven.

Aufgrund der Erhöhung und Verbreiterung der Deichkrone müssen bei der Basisdeichverstärkung die Böschungen steiler als bisher vorhanden geplant werden. Da die Böschungen befestigt werden sollen, können steilere Böschungsneigungen als bei unbefestigten Böschungen angesetzt werden. So soll die Binnenböschung eine Neigung von 1:2,5 erhalten. Somit ist eine Außenböschung mit einer Neigung von 1:5,5 umsetzbar.

Die Binnenböschung soll mit Asphalt-Mastix-Schotter, die Außenböschung mit Betonsäulen/Betonformsteinen mit Höhenversätzen oberhalb des Bemessungswasserstandes befestigt werden. Die Betonsäulen/Betonformsteine sind auf eine Schotterschicht gegründet. Die derzeit vorhandene Asphaltbetonbefestigung wird gefräst und vor Ort aufbereitet. Das recycelte Asphaltfräsgut wird als gering wasserdurchlässige Schicht unterhalb des Asphalt-Mastix-Schotter und der Schotterschicht unterhalb der Betonsäulen/Betonformsteine eingebaut und verhindert somit das übermäßige Eindringen von Wasser über die Deichböschungen.

Ein möglicher Wassereintrag in den Deichkörper wird somit im Vergleich zum Bestand leicht erhöht. Geotechnische Berechnungen haben jedoch gezeigt, dass das vorhandene vollvergossene Schüttsteindeckwerk erhalten werden kann da der geringfügige zusätzliche Wassereintrag über die Böschungen keine relevanten zusätzlichen Belastungen auf das Deckwerk verursacht.

Betonsäulen sowie Betonformsteine generieren ihren Widerstand gegenüber den äußeren Belastungen nicht allein durch ihr Flächengewicht. Bei Betonsäulen wirkt neben dem Flächengewicht zudem die Mantelreibung zu den angrenzenden Betonsäulen. Durch das Einbringen von gebrochenen Natursteinmaterial in die Fugen zwischen den Säulen verzahnen sich diese gegeneinander und es entsteht eine erhöhte Mantelreibung die somit zu einer hohen Stabilität des Systems gegenüber äußeren Belastungen führt. Bei Betonformsteinen wird kein gebrochenes Natursteinmaterial in die Fugen eingebracht, da die Fugen deutlich kleiner ausgebildet sind. Somit ist die

Mantelreibung zwischen den Betonformsteinen im Vergleich zu Betonsäulen geringer. Zur Erhöhung der Stabilität können Betonformsteine mit einem Nut- und Federsystem verwendet werden. Durch dieses System wird die Stabilität der Betonformsteine gegenüber äußeren Belastungen deutlich erhöht.

Betonsäulen sowie Betonformsteine sind bewährte Befestigungssysteme für Deichböschungen bzw. Deckwerke und werden seit vielen Jahren eingesetzt. Zusätzlich wurden die Systeme durch unterschiedlichste Versuchsanstalten in Wellenkanälen getestet und Stabilitätskoeffizienten entwickelt, die den Widerstand gegenüber äußeren Belastungen widerspiegeln.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen eine technisch hohe Vergleichbarkeit zwischen Betonsäulen sowie Betonformsteinen mit grundsätzlich gleich hohen Stabilitätskoeffizienten.

Zusätzlich werden im Außenböschungsbereich oberhalb des Bemessungswasserstandes die Betonsäulen/Betonformsteine abwechselnd in unterschiedlicher Höhe gesetzt. Die entstehenden Rippen führen zu einer deutlichen Erhöhung der Rauigkeit auf der Außenböschung und somit zu einer erheblichen Reduktion des Wellenauflaufes.

5.1.4. Variante D - Klimaprofil

Bei der Variante D handelt es sich um eine Außendeichverstärkung. Das Klimaprofil wird ausgehend vom vorhandenen Deichbinnenfuß entwickelt. Die Binnenböschung hat eine Neigung von 1:3. Die Deichkrone wird auf +9,00mNHN erhöht und auf 5 m verbreitert. Die Außenböschung hat eine Neigung von 1:10. Die Böschungen sollen mit einer Kleiabdeckschicht versehen werden. In einer Höhe von +3,80mNHN (MThw + 1,50m bis 1,70m zzgl. Klimazuschlag 0,50m) schließt die 5 m breite asphaltierte Wellenüberschlagssicherung mit einer Neigung von 1:15 an. Der Deichfuß wird mit einem verklammerten Schüttsteindeckwerk unter einer Neigung von 1:3 bis auf eine Höhe von +0,00mNHN gesichert. Der Deichfuß verschiebt sich um ca. 35 m nach Außendeichs.

5.1.5. Variante E - Profil Eiderdamm Süd

Bei der Variante E handelt es sich um eine Basisdeichverstärkung. Das Deichprofil wird zwischen der binnendeichs gelegenen Entwässerungsmulde und dem vollvergossenen Schüttsteindeckwerk außendeichs entwickelt.

Die Binnenböschung hat eine Neigung von 1:3 und wird mit Asphalt-Mastix-Schotter auf Bitumensand befestigt. Die Deichkrone wird auf +9,00mNHN erhöht und auf 4 m verbreitert. Die Deichkrone wird mit einem asphaltierten Deichkronenweg versehen. Die Außenböschung wird mit einer Neigung von 1:7,8 mit Asphalt-Mastix-Schotter auf Bitumensand befestigt. Die letzten 5 m der Außenböschung vor dem Übergang zum Deckwerk werden als Überschlagssicherung ausgebildet (vollvergossenes Schüttsteindeckwerk). Auf einer Höhe von +6,20mNHN schließt das teilverklammerte Schüttsteindeckwerk unter einer Neigung von 1:3 an. Dieses schließt auf einer Höhe

von +1,50mNHN (ca. Wattoberkante) an das vorhandene vollvergossene Schüttsteindeckwerk an. Das über +1,50mNHN vorhandene vollverklammerte Schüttsteindeckwerk wird zurück gebaut. Durch das teilvergossene Schüttsteindeckwerk können Wasserüberdrücke im Deichkörper abgebaut werden.

5.2. Variantenvergleich Küstenschutz

Die unterschiedlichen Varianten werden in küstenschutztechnischer, ökologischer und wirtschaftlicher Hinsicht bewertet.

5.2.1. Variante A – Deckschichtsanierung Asphaltbauweise

Bei dieser Variante kommt es technisch zu keinerlei Veränderung bzw. Verbesserung des Küstenschutzes. Vielmehr wird der ursprüngliche Zustand der Deichabdeckung wiederhergestellt. Seit der Fertigstellung der Eiderdämmung 1973 hat sich gezeigt, dass die Asphaltdeckschicht in der Unterhaltung sehr aufwendig ist. Gerade in den Fertigungsnahten ist der Unterhaltungsaufwand sehr groß da sich diese teilweise geöffnet haben. Zudem zeigt sich an der Oberfläche altersbedingt eine Ausmagerung des Bindemittels mit einhergehender Rissbildung. Bei diesem System ist somit von einer erwarteten Lebensdauer von ca. 40 Jahren auszugehen. Zudem beträgt die Wellenüberlaufrate nach der Verstärkung 5 l/m*s. Die Variante stellt somit keine zukunftssichere bzw. nachhaltige Lösungsmöglichkeit dar.

5.2.2. Variante B – Deckschichtsanierung und Profilanpassung Asphalt-Mastix-Schotter

Durch die Profilanpassung und Erhöhung der Deichkrone auf konstant +9,00mNHN wird der Küstenschutz verbessert.

Obwohl das nachträgliche Aufsetzen einer Deichkappe nach dem Konzept Baureserve wegen der steilen Außenböschung nicht möglich ist, bietet die verbreiterte Deichkrone Platz für technische Alternativen wie zum Beispiel Wellenabweiser. Der Küstenschutz wird somit langfristig verbessert.

Die Deckschicht aus Asphalt-Mastix-Schotter ist im Vergleich zur Asphaltbauweise der Variante A deutlich unempfindlicher in Bezug auf Temperaturschwankungen und einhergehender Rissbildung. Der Unterhaltungsaufwand von Asphalt-Mastix-Schotter ist in Bezug auf die Rissbildung als gering einzustufen.

Bei Asphalt-Mastix-Schotter Deckschichten handelt es sich um leichte Deckschichten. Diese Art von Deichbefestigung ist in Bereichen mit schwerer Seegangsbelastung wie dem Eiderdamm (Signifikante Wellenhöhe 2,10 m) nicht zu empfehlen da die Deckschicht diesen Belastungen auf Dauer nicht standhalten wird und somit ein hoher Unterhaltungsaufwand auf der Außenböschung zu erwarten ist. Speziell im Höhenbereich zwischen Schüttsteindeckwerk und Bemessungswasserstand ist die Belastung der Deckschicht als sehr hoch einzuschätzen.

5.2.3. Variante C – Deckschichtsanierung und Profilanpassung Betonsäulen/Betonformsteine

Durch die Profilanpassung und Erhöhung der Deichkrone auf konstant +9,00mNHN wird der Küstenschutz deutlich verbessert.

Obwohl das nachträgliche Aufsetzen einer Deichkappe nach dem Konzept Baureserve wegen der steilen Außenböschung nicht möglich ist, bietet die verbreiterte Deichkrone Platz für technische Alternativen wie zum Beispiel Wellenabweiser.

Wie bei Variante B kommt auch bei der Variante C Asphalt-Mastix-Schotter mit seinen Vorteilen auf der Binnenböschung zum Einsatz. Im Gegenteil zu der Variante B wird die Außenböschung mit Betonsäulen/Betonformsteinen befestigt. Die Betonsäulen/Betonformsteine haben ein deutlich höheres Flächengewicht sowie höhere Stabilität gegenüber äußeren Belastungen als der Asphalt-Mastix-Schotter und können somit der hohen Seegangsbelastung standhalten. Der Unterhaltungsaufwand ist daher als gering einzustufen. Durch die Anordnung von Höhenversätzen oberhalb des Bemessungswasserstandes wird zudem der Wellenauflauf erheblich reduziert und die Deichsicherheit gegen Wellenüberlauf deutlich erhöht. Die Wellenüberlaufbemessung hat ergeben, dass durch die Anordnung von Höhenversätzen ein Ausbauzustand bzw. Sicherheitsstandard erreicht wird, der im Wesentlichen dem eines Klimaprofils entspricht. Der Küstenschutz wird somit langfristig verbessert. Durch die Ausbildung einer gering wasserdurchlässigen Schicht (aufbereitetes Asphaltfräsgut) verändert sich das Deichsystem nicht relevant und das vorhandene vollvergossene Schüttsteindeckwerk kann erhalten werden. Dies reduziert deutlich die Kosten und ein Eingriff in die angrenzenden Watt- und Salzwiesenflächen kann vermieden werden.

5.2.4. Variante D – Klimaprofil

Durch die flachere Außenböschung sowie die Erhöhung der Deichkrone auf konstant +9,00mNHN wird der Küstenschutz deutlich verbessert.

Bei Bedarf kann der Deich gemäß dem Konzept der Baureserve mit einer Kappe nochmals erhöht werden. Der Küstenschutz wird somit langfristig verbessert.

Beim Klimaprofil verbreitert sich die Deichbasis deutlich und der Deichfuß außendeichs verschiebt sich um ca. 35m in die vorgelagerten Wattflächen. Es werden somit große Flächen überbaut, die bisher nicht vorbelastet sind. Aufgrund des sehr weichen Untergrundes ist somit mit erheblichen Setzungen im Bereich der gesamten Außenböschung zu rechnen. Dies erhöht den technischen Aufwand beim Bau deutlich und vergrößert den Bedarf an Füllboden in erheblichen Maße. Zudem wird für das Klimaprofil eine erhebliche Menge an Kleiboden benötigt. Zum jetzigen Stand der Planungen stehen noch keine Kleientnahmeflächen zur Verfügung. Der Bedarf an Kleiboden sowie Füllboden stellt einen hohen Mehrkostenanteil dar.

5.2.5. Variante E – Profil Eiderdamm Süd

Durch die flachere Außenböschung sowie die Erhöhung der Deichkrone auf konstant +9,00mNHN wird der Küstenschutz verbessert.

Obwohl das nachträgliche Aufsetzen einer Deichkappe nach dem Konzept Baureserve wegen der steilen Außenböschung nicht möglich ist, bietet die verbreiterte Deichkrone Platz für technische Alternativen wie zum Beispiel Wellenabweiser. Der Küstenschutz wird somit langfristig verbessert.

Durch die Befestigung der Böschungen mittels Asphalt-Mastix-Schotter und Schüttsteindeckwerk ist der Unterhaltungsaufwand als gering einzuschätzen.

Die Variante stellt eine Kombination aus wasserdurchlässigen und wasserundurchlässigen System dar. Sowohl die Binnenböschung als auch die Außenböschung – mit Unterbrechung durch die wasserundurchlässige Wellenüberschlagssicherung – werden wasserdurchlässig gebaut. Das vorhandene wasserundurchlässige Schüttsteindeckwerk wird unterhalb des MThw beibehalten. Die Grundwasserstände innerhalb des Deichkörpers steigen somit bei erhöhten Außenwasserständen deutlich an. An den wasserundurchlässigen Bereichen kann es bei fallenden Außenwasserständen lokal zu erhöhten Innenwasserdrücken kommen. Speziell im Bereich des vorhandenen wasserundurchlässigen Deckwerkes - welches zu großen Teilen von Wattflächen überdeckt ist - kann es somit zu einem erhöhten Innenwasserdruck kommen.

Durch die Erhöhung der Deckwerksschulter auf +6.20mNHN werden erhebliche Mengen an Füllboden benötigt. Die Erhöhung findet in nur leicht vorbelasteten Bereichen des jetzigen Deichquerschnitts statt. Daher ist mit großen Setzungen zu rechnen. Gemäß geotechnischen Gutachten des LLUR aus dem Jahr 2016 sind im Nordteil des Eiderdamms großflächige mehrjährige Vorbelastungen vorzusehen.

5.3. Variantenvergleich Wirtschaftlichkeit

Für die oben aufgeführten Varianten wurden die Herstellungskosten der Hauptleistungen der Baumaßnahmen anhand der zum Zeitpunkt der Entwurfsaufstellung (Stand Februar 2021) gültigen Lohn- und Materialkosten einschließlich der Mehrwertsteuer ermittelt.

Die gerundeten Kosten betragen für:

Variante A – Deckschichtsanierung Asphaltbauweise	16.300.000 €
Variante B – Asphalt-Mastix-Schotter	27.300.000 €
Variante C – Betonsäulen/Betonformsteine	26.100.000 €
Variante D – Klimaprofil	36.200.000 €

Variante E – Profil Eiderdamm Süd

30.400.000 €

Die Aufteilung der Kostenschätzung erfolgte in Einzeltitel für Baustelleneinrichtung, Rückbauarbeiten, Erdarbeiten, Wegebau, Deckschichtbau, befestigte Deichkrone, Deichzubehör und Begrünung.

Eine monetäre Bewertung der für die Variante D Klimaprofil notwendigen Kohärenzsicherungsmaßnahmen bzw. Kompensation erfolgte nicht. Für die Kosten der Entnahmeflächen für Klei und Füllboden wurden die zum Zeitpunkt der Kostenberechnung übliche Hektar-Preise auf der Halbinsel Eiderstedt angesetzt. Es wurde zudem von einer Entfernung von maximal 10 km zur Deichbaustelle sowie einer mittleren Entnahmetiefe von 3m ausgegangen.

5.4. Variantenvergleich Naturschutz

Die naturschutzfachliche Bewertung ist der entsprechenden Begleitunterlage zu entnehmen.

5.4.1. Orts- und Landschaftsbild

Bei den Varianten A, B und C kommt es zu keiner bzw. nur einer geringen Veränderung des Landschaftsbildes. Da das Profil nur geringfügig geändert wird besteht die einzige Veränderung im Landschaftsbild in der Ausgestaltung der Oberfläche der Befestigung. Eine eventuelle Begrünung der Befestigungen würde das Landschaftsbild hingegen deutlicher ändern.

Bei der Variante D käme es zu einer deutlichen Veränderung des Landschaftsbildes, da sich die Deichbasis um 35m vergrößert und die Außendeichböschung deutlich flacher wird. Hinzu kommt die komplette Begrünung des Deiches.

Bei der Variante E kommt es auch zu einer deutlichen Veränderung des Landschaftsbildes. Zwar verändert sich die Oberfläche nur geringfügig, jedoch wird das Profil deutlich verändert. Durch die Erhöhung des Deckwerkes würde das Deichprofil erheblich mächtiger wirken.

5.5. Wahl der Vorzugsvariante

Nach technischer, wirtschaftlicher und naturschutzfachlicher Abwägung wurde die

Variante C Deckschichtsanierung und Profilanpassung Betonsäulen/Betonformsteine

als Vorzugsvariante ermittelt.

Die Umweltverträglichkeitsstudie bekräftigt die Wahl der Varianten der Basisdeichverstärkungen, da diese Varianten die geringsten Auswirkungen auf die unterschiedlichen Schutzgüter aufweisen. Hier sei im Vergleich zur Variante D Klimaprofil vor allen Dingen die nicht geplante Watt- bzw. Vorlandüberbauung genannt.

An dieser Stelle wird auf die gesetzlichen Rahmenbedingungen verwiesen, welche vorgeben, dass Eingriffe in Natur und Landschaft zu vermeiden sind, wenn eine Zumutbarkeit gegeben ist.

Die Zumutbarkeit wird als gegeben angesehen. Grund dafür ist, dass aus küstenschutztechnischer Sicht die Variante C einen sehr hohen Sicherheitsstandard aufweist. Gemäß den Ergebnissen der Wellüberlaufberechnung ist der Sicherheitsstandard der Variante C vergleichbar mit dem des Klimaprofils inklusive Kappenerhöhung. Im Ergebnis handelt es sich um eine sehr zukunftsichere Deckschichtsanierung. Der Unterhaltungsaufwand wird als gering eingeschätzt. Vorteilhaft gegenüber den anderen Varianten ist zudem der zu erwartende schnelle Baufortschritt und damit kürzere Bauzeit zu erwähnen aufgrund der schnellen und relativ simplen Verlegung von Betonsäulen/Betonformsteinen.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist eine Zumutbarkeit ebenfalls als gegeben anzusehen. Variante C stellt nach der Variante A (die allerdings keine zukunftsichere Lösung im Sinne des Küstenschutzes ist) die zweitwirtschaftlichste Variante dar. In Bezug auf die Kostenschätzung sei noch zu erwähnen, dass bei einer derart großen zu befestigen Fläche die Preise für Betonsäulen/Betonformsteine noch sinken können, wohingegen die Tendenz der Preise für Grünland bzw. Ackerflächen (zur Umsetzung erforderlicher Kompensationsmaßnahmen) deutlich nach oben zeigt. Zudem wurden, wie zuvor erwähnt, keine Kosten für Kohärenzsicherungsmaßnahmen sowie Kompensation bei der Variante D angesetzt. Auch sei nochmals auf die geotechnischen Problemstellungen bei einer Überbauung von weichen Wattflächen und ehemaligen Prielen bzw. Überhöhung innerhalb der Deichbasis in nur mäßig vorbelasteten Bereichen verwiesen, die gerade für die Standsicherheit und die Bauausführung erhebliche Problemstellungen mit sich bringen.

6. Beschreibung Vorzugsvariante

6.1. Allgemeines

Angaben zu technischen Details und Abmessungen, wie z.B. Schichtstärken von Fahrbahnaufbauten etc., sind lediglich nachrichtlich zu sehen und können sich im Zuge der Ausführungsplanung gegebenenfalls im beschränkten Umfang ändern.

6.2. Linienführung

Die Linienführung des zu verstärkenden Landesschutzdeiches ändert sich gegenüber dem bestehenden Landesschutzdeich nicht.

Die örtlichen Verhältnisse lassen eine Verschiebung der Deichachse nicht zu. So befindet sich binnendeichs die Landesstraße 305 und angrenzend das Naturschutzgebiet Katinger Watt. Außendeichs schließen ausgedehnte Wattflächen an. Eine Verschiebung der Deichachse nach binnen bzw. außendeichs würde jeweils einhergehen mit der Überbauung von Naturschutzflächen.

Aus küstenschutztechnischer Sicht ist eine veränderte Linienführung nicht notwendig. Die vorhandene Linienführung ist gekennzeichnet durch einen Langen Bogen mit sehr großem Radius. In Richtung Norden zum Anschluss an den Bereich Vollerwiek verkleinert sich der Bogenradius. Ein enger Radius in diesem Bereich – einhergehend mit einem Buchteneffekt – ist als unkritisch zu bewerten, da in diesem Bereich die Seegangsbelastung deutlich geringer ist als im südlichen Abschnitt des Deiches.

6.3. Anschlussprofile

Nördlich angrenzender Deichabschnitt Vollerwiek

Im Norden schließt der zu überplanende Landesschutzdeich an den Deichabschnitt Vollerwiek an. Das Deichprofil des Abschnittes Vollerwiek ist ein klassisches, zur Deichkrone hin sich versteilendes Deichprofil, abgedeckt mit einer begrüntem Kleischicht, einer Wellenüberschlagssicherung sowie einem verklammerten Schüttsteindeckwerk. Es weist eine mittlere Deichneigung von 1:7 bei einer mittleren Kronenhöhe im Anschlussbereich von 8,40mNHN auf. Dieser Deichabschnitt wurde zuletzt 1974 verstärkt.

Anschluss Vollerwiek im Norden

Um die unterschiedlichen Deichhöhen sowie Neigungen des Verstärkungsbereiches und des Anschlussbereiches aneinander anzupassen, ist ein Verziehungsbereich vorgesehen. Die Deichhöhe reduziert sich von 9,00mNHN auf 8,40mNHN. Die Reduzierung der Höhe wird zwischen Stat. 0+000 und -0+350 umgesetzt und verläuft von -0+350 bis zum Verstärkungsende bei -0+580 auf einer konstanten Höhe von 8,40mNHN weiter. Die Anpassung der Deichneigung der Außenbö-

sung erfolgt zwischen Stat. -0+350 und -0+580. Die Neigungsanpassung wird sukzessive zwischen der Deichrampe die bei -0+350 die Deichkrone quert und dem Anschluss der Rampe an den Treibselabfuhrweg des Abschnittes Vollerwiek umgesetzt. Als Abgrenzung zwischen dem Verstärkungsbereich mit befestigten Böschungen und dem Anschlussbereich mit Kleiabgedeckten Böschungen sind Keilpfalzplatten vorgesehen.

Anschluss Schleuse im Süden

Die neue Deichkronenhöhe von +9,00mNHN wird zwischen Station 3+100 und 3+200 mit konstanter Neigung auf +8,50mNHN abgesenkt. Dies entspricht der Höhe der Oberkante der Schleusenwände. An diese wird somit höhengleich angeschlossen. Die Böschungen schließen direkt an die Schleusenwände an, daher ist eine Angleichung der Böschungsneigungen an den Bestand nicht notwendig.

Übergangsbereich zwischen Schleuse und Sperrwerk

Auf ca. 20m ist in diesem Übergangsbereich eine Sanierung der Deckschichten der Außen- sowie Binnenböschung notwendig. Es wird eine reine Deckschichtsanierung durchgeführt, ohne Veränderung des Deichprofils. Auch die Deichkronenhöhe wird auf der Bestandshöhe von +8,50mNHN beibehalten.

Südlich angrenzender Deichabschnitt

Im Süden schließt der zu überplanende Landesschutzdeich an das Eidersperrwerk mit einer Kronenhöhe von +10,30mNHN an und südlich davon an den Abschnitt „Eiderdamm Süd“ mit einer Deichkronenhöhe von +9,00mNHN der 2019/2020 verstärkt wurde.

6.4. Deichprofil

Das neue Deichprofil folgt größtenteils dem vorhandenen Profil. Durch die Erhöhung der Deichkrone auf einheitlich +9,00mNHN sowie Verbreiterung der Deichkrone kommt es zu einer leichten Verteilung der Böschungen. So wird die Binnenböschung von 1:3 auf 1:2,5 geändert. Die Außenböschung ändert sich von 1:6 auf 1:5,5. Durch diese geringen Änderungen im Profil wird für die Deichverstärkung voraussichtlich kein zusätzlicher Füllboden für den Deichkern benötigt. Es ist geplant, den vorhandenen Füllboden innerhalb der Deichtrasse bedarfsweise zu verlagern.

Alle Materialien vor Ort werden wiederverwendet. So wird die vorhandene Asphaltdeckschicht gefräst und aufbereitet als gering wasserdurchlässige Schicht wieder eingebaut. Details zur Aufbereitung können dem Gutachten der HNL Ingenieur- und Prüfgesellschaft mbH vom 06.12.2021 – welches als Anlage beiliegt – entnommen werden. Gemäß geotechnischem Gutachten ist hierbei zu beachten, dass diese Schicht zwischen Baustation -0+580 und +0+150 als sehr gering wasserdurchlässige Schicht mit einer maximalen Durchlässigkeit von $k_f = 5 \times 10^{-8}$ ausgeführt wird, da hier

das vorhandene Deckwerk in eine Kleischicht einbindet und es bei erhöhten Wassereintrag in den Deichkern zu Standsicherheitsproblemen kommen kann. Die erforderliche Dichtigkeit kann durch Heißmischverfahren des Fräsgutes, durch das Aufbringen einer zusätzlichen Asphaltdeckschicht auf dem Fräsgut oder der Verwendung spezieller Vliesstoffe erzielt werden. Zwischen Baustation +0+150 und +2+950 ist eine geringe Wasserdurchlässigkeit von maximal $k_f = 10^{-7}$ zulässig, da das vorhandene Deckwerk hier nicht in eine Kleischicht einbindet und somit eine Entwässerung über den Untergrund möglich ist. Diese Durchlässigkeitswerte sind mit einer Anpassung der Körnungslinie des Asphaltfräsgutes (Zufügung eines Füllermaterials) zu erreichen.

Auf der Binnenböschung wird die aufbereitete Asphaltfräsgut-Schicht mit erosionsfesten Mastixschotter abgedeckt. Außendeichs wird eine Deckschicht bestehend aus einer Schotterschicht und Betonsäulen / Betonformsteinen aufgebracht. Oberhalb von +6,00mNHN werden unterschiedlich hohe Betonsäulen / Betonformsteine in einem Raster als Rippen eingebaut. Durch diese Anordnung von Störelementen wird die Rauigkeit der Außenböschung deutlich erhöht und folglich der Wellenüberlauf reduziert.

Fußsicherung	Betonabschlussstein Anschluss an vorhandenes Deckwerk, vollvergossen
Außenböschung	Neigung 1:5,5 Abdeckmaterial: Betonformsteine / Betonsäulen Höhenversätze oberhalb von +6,00mNHN
Deichkrone	+9,00mNHN Breite 4,00m inkl. befestigter Deichkronenweg (3,50m)
Innenböschung	Neigung 1:2,5 Abdeckmaterial: Mastixschotter

Tabelle 3: Deichprofil Bestandteile

Wellenüberlaufberechnung

In die Berechnung des Wellenüberlaufes ist ein ermittelter Rauigkeitskoeffizient von $\gamma_f = 0,76$ zur Berücksichtigung der Rippen / Störelemente sowie der allgemeinen Rauigkeit der Betonsteine / Betonsäulen auf der Außenböschung mit eingeflossen. Für den Bemessungswasserstand ergibt sich ein Wellenüberlauf von 0,0 l/s*m.

6.5. Deckwerk

Den seeseitigen Abschluss des vorhandenen Deiches bildet ein vollvergossenes Schüttsteindeckwerk. Der Deckwerkskopf liegt im Mittel auf einer Höhe von ca. +3,00mNHN. Das Deckwerk hat eine Neigung von 1:4, der Fuß des Deckwerkes liegt bei ca. +0,50mNHN und ist mit einer ca. 5 m langen durchlässigen Schüttsteinvorlage gesichert. Durch stetige Auflandung ist das Deckwerk zu einem großen Teil durch Wattflächen überlagert. Die Oberkante der Wattflächen liegt im Mittel bei ca. +1,50mNHN. Das Deckwerk befindet sich insgesamt in einem guten technischen Zustand und soll daher erhalten werden. Eventuelle Fehlstellen werden im Zuge der Deichverstärkung ausgebessert.

6.6. Außenböschung

Die Außenböschung ist mit einer Neigung von 1:5,5 geplant. Der Deichkern aus Spülsand muss teilweise geringfügig an das neue Deichprofil angepasst werden. Auf dem Deichkern ist ein Vlies zur Gewährleistung der Filterstabilität vorgesehen. Auf das Vlies wird eine Schicht aus dem aufbereiteten Asphaltfräsgut der alten Asphaltdeckschicht aufgebracht. Auf diese Schicht wird eine Schottertragschicht als Planum für die neue Deckschicht aufgebracht. Die Schottertragschicht dient auch der Entwässerung der Deckschicht. Wasser, das durch die Fugen der neuen Deckschicht in die Böschung eindringt wird über die Schotterschicht zum Betonabschlussstein der Außenböschung am Übergang zum vorhandenen Schüttsteindeckwerk abgeleitet und über vergrößerte Fugen in einem regelmäßigen Abstand zwischen den Betonabschlusssteinen aus der Deichkonstruktion abgeführt.

Als neue Deckschicht sind Betonformsteine bzw. Betonsäulen vorgesehen. Beide Systeme bieten einen hohen Widerstand gegenüber Seegangsbelastungen und durch die Wahl des Materials Beton eine lange Lebensdauer. Beide Systeme weisen einen gewissen Fugenanteil auf. Da sich die Systeme bezüglich ihrer Art der Verzahnung untereinander und dem daraus resultierenden Widerstand gegenüber der Seegangsbelastungen stark unterscheiden ergeben sich unterschiedlich notwendige Mächtigkeiten der Deckschichtstärke.

Bei der Wahl der Systeme wurde Seitens des LKN.SH eine Vorauswahl getroffen. Maßgebend für die Wahl der Systeme ist zum einen, dass das Material einen hohen Widerstand gegenüber den Seegangsbelastungen aufweisen muss und dies zudem durch physikalische Modellversuche in Wellenkanälen geprüft und dokumentiert wurde. Zum anderen ist es bei befestigten Böschungen wichtig, dass Setzungen im Untergrund bzw. im Deichkern auch innerhalb der Deckschicht erkennbar sind und eine Gewölbebildung somit ausbleibt. So können Schäden am Deichkörper frühzeitig erkannt werden und Setzungen bzw. Materialauswaschungen bleiben nicht unerkannt.

Aufgrund dieser Auswahlkriterien ist die Wahl auf folgende Materialien / Systeme gefallen:

Betonformsteine

Es wurden Betonformsteine gewählt, die über ein Nut-Federsystem verfügen und daher als verzahnte Deckwerksteine gelten. Durch diesen vertikalen Verbund erhöht sich der Widerstand gegenüber äußeren Belastungen im Vergleich zu herkömmlichen Setzsteindeckwerken ohne vertikalen Verbund deutlich. Durch das Nut-Federsystem findet eine Kraftübertragung zwischen den einzelnen Steinen statt und es entsteht ein Gesamtsystemwiderstand gegenüber den äußeren Belastungen. Zudem wirkt das Nut-Federsystem wie eine Art Kugellager. Somit folgt die Deckschicht möglichen Setzungen im Untergrund bis zu einem gewissen Maße. Schäden im Deichkörper können daher schnell erkannt werden. Diese Art von verzahnten Deckwerksteinen wurde unter anderem im großen Wellenkanal des Forschungszentrum Küste in Hannover getestet.

Betonsäulen

Im Gegensatz zu Betonformsteinen mit Nut-Federsystem erzeugt das gewählte Betonsäulensystem die Stabilität gegenüber den äußeren Belastungen über eine Kombination aus Mantelreibung und Einzelsäulengewicht. Es wurde ein System ausgewählt, in dem vier einzelne Betonsäulen über Holme miteinander verbunden sind. So wird ein hohes Einzelblockgewicht erreicht. Die Fugen zwischen den Säulen sind mit einem Fugenanteil von ca. 11% etwas größer als bei den Betonformsteinen. Die Fugen werden mit einem Natursplit mit einer feinen Körnung verfüllt. Durch die Fugenfüllung wird die Mantelreibung zwischen den Säulenblöcken deutlich erhöht und ein sehr hoher Widerstand gegenüber der Seegangsbelastung erzielt. Da die einzelnen Blöcke keine starre Verbindung untereinander aufweisen, setzt sich die Deckschicht bei möglichen Setzungen / Auswaschungen im Deichkern mit. Schäden können somit schnell erkannt werden. Diese Art von Säulendeckwerken wurde unter anderem von Deltares (unabhängiges Forschungsinstitut im Bereich Wasserbau aus Delft in den Niederlanden) im Delta Flume (großer Wellenkanal) getestet.

Bei beiden Systemen können Höhenversätze bzw. Störsteine integriert werden. Die Planung sieht vor, oberhalb des Bemessungswasserstandes von +6,00mNHN Höhenversätze in Form von Rippen zu integrieren und den Wellenüberlauf dadurch zu reduzieren.

Bemessung der Deckschichtmächtigkeit

Zur Bemessung der notwendigen Deckschichtmächtigkeit wurden geotechnische und hydraulische Berechnungen durchgeführt. Aus den Berechnungen folgt jeweils eine Mindeststärke für die Deckschicht die erforderlich ist um die Stabilität der Schicht zu gewährleisten. Die so ermittelte Deckschichtstärke gibt die Mindeststärke im Grenzzustand an. Um die erforderliche Langlebigkeit der Konstruktion zu erzielen, die auch Unwägbarkeiten in der zukünftigen Entwicklung der Wasserstände und Seegangsbelastung berücksichtigt, werden Sicherheitsfaktoren zur Mindeststärke der Deckschicht hinzugerechnet.

Bei der Bemessung von durchlässigen Deckschichten über einer wasserundurchlässigen Schicht sind nach dem BAW-Merkblatt GBB2010 zwei unterschiedliche Versagensmechanismen zu beachten: das Abgleiten in einer böschungparallelen Bruchfläche sowie das Abheben der Deckschicht. Beide Versagensfälle werden durch Porenwasserüberdrücke in der unterhalb der Deckschicht angeordneten Schotterschicht hervorgerufen und können durch ein ausreichend großes Flächengewicht in Folge der Deckschichtmächtigkeit verhindert werden. Die verzahnende Wirkung des Nut-Federsystems bei den Betonformsteinen bzw. die erhöhte Mantelreibung der Betonsäulen wird in der Berechnung nicht betrachtet. Die Ergebnisse liegen somit auf der sicheren Seite. Beide Versagensfälle treten auf, da es aufgrund eines Wasserspiegelabsunkes (Wellenberg / Wellental, Absinken von Sturmflutwasserständen) zu einem Porenwasserüberdruck in der wassergesättigten Schotterschicht kommt. Es ist davon auszugehen, dass mit steigenden Außenwasserständen auch

der Wasserstand innerhalb der Schotterschicht steigt. Die Entwässerung dieser Schicht bei einem Wasserspiegelabsenk verläuft jedoch verzögert ab, da die Deckschicht nur eine begrenzte Durchlässigkeit aufweist. Dadurch kann es zu Porenwasserüberdrücken und damit zu stabilitätsgefährdenden Auftriebskräften kommen.

Aus Laborversuchen kann die Durchlässigkeit der Deckschicht mit $3,6 \times 10^{-2}$ m/s abgeschätzt werden. Da sich die Fugen der Deckschicht über die Zeit mit Kleinstpartikeln zusetzen können, reduziert sich die Durchlässigkeit über die Zeit. Parallel erhöhen sich jedoch die verzahnenden Kräfte zwischen den Betonsteinen / Betonsäulen.

Da der Deichkern mit einer gering wasserdurchlässigen Schicht abgedeckt ist, bildet sich der für die Deckschicht maßgebende Porenwasserüberdruck nur innerhalb der Schottertragschicht aus. Die Berechnungen des Porenwasserüberdruckes nach BAW-Merkblatt GBB2010 ergaben sehr geringe Porenwasserüberdrücke in der Schotterschicht durch den Lastfall des Wasserspiegelabsunkes, sowohl aus dem Absenk Wellenberg / Wellental als auch dem Absinken von Sturmflutwasserständen. Die Versagensfälle Abheben und Abgleiten sind aufgrund des geringen Porenwasserüberdruckes durch den Wasserspiegelabsenk daher nicht maßgebend für die Bemessung der notwendigen Deckschichtmächtigkeit.

Als weiterer Bemessungsfall wird der Lastfall eines welleninduzierten Druckschlages betrachtet. Zu einer Druckschlagbelastung kommt es, wenn die auflaufende Welle in Form eines Sturzbrechers auf die Böschung trifft. Der Druck – beim Auftreffen der Welle auf die Deckschicht – kann dabei durch die Fugen der Betonformsteine / Betonsäulen in die Schotterschicht unterhalb der Deckschicht eindringen. Hierdurch entsteht – ähnlich dem Lastfall Absenk – eine Auftriebskraft in der Schotterschicht hervorgerufen durch Porenwasserüberdrücke.

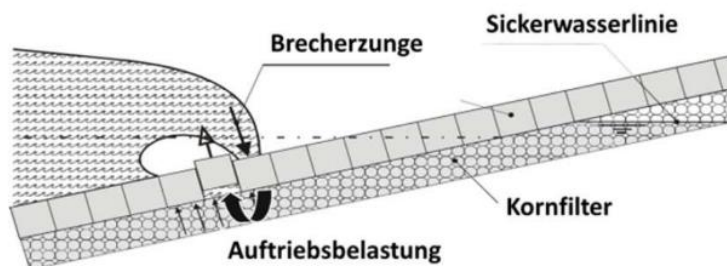


Abbildung 2: Lastfall welleninduzierter Druckschlag (EAK 2002)

Durch die maßgebenden Seegangparameter ergibt sich gemäß EAK, dass es im Bereich des Eiderdammes auf der Außenböschung zu Sturzbrechern kommen kann. Daher ist dieser Lastfall Druckschlag zu betrachten.

Der Widerstand gegenüber dieser Belastung erfolgt zum einen durch das Flächengewicht der Deckschicht als auch durch die verzahnenden Kräfte zwischen den einzelnen Deckschichtsteinen.

Die verzahnenden Kräfte entstehen, wie zuvor beschrieben, bei den Betonformsteinen durch die Verwendung eines Nut-Federsystems und bei den Betonsäulen durch die Mantelreibung. Diese verzahnenden Kräfte werden durch den sogenannten Stabilitätskoeffizienten beschrieben. In physikalischen Modellversuchen wurde dieser Koeffizient für beide Systeme produktspezifisch in Wellenkanälen ermittelt.

Die Dissertation von GIER [F. Gier, Zur Bemessung von verzahnten Setzsteindeckwerken gegen hydrodynamische Belastungen, 2017] liefert einen semi-empirischen Bemessungsansatz für die notwendige Steindicke, der die verzahnenden Kräfte zwischen den Deckwerkssteinen berücksichtigt. Der Ansatz wurde auf Basis von großmaßstäblichen physikalischen Modellversuchen im Großen Wellenkanal in Hannover entwickelt. Mit den maßgebenden Seegangparametern zuzüglich gewählter Sicherheitsbeiwerte ergeben sich notwendige Mindestdicken für die Deckschicht, die für die Sicherheit gegen Abheben aufgrund von welleninduzierten Druckschlag notwendig sind. Zuzüglich der Berücksichtigung der Lebensdauer / Langlebigkeit sowie in Anlehnung an verfügbare Steindicken der beiden Deckschichtsysteme wird folgende Steindicke gewählt:

System	Gewählte Steindicke	Flächengewicht
Betonformstein inkl. Nut-Feder-System	0,18m	396 kg/m ²
Betonsäule (Verbund von vier Säulen)	0,25m	500 kg/m ²

Tabelle 4: gewählte Steindicke der Deckschicht

Zu berücksichtigen ist, dass die Welleninduzierten Kräfte auf die Deckschicht und infolge dessen die notwendige Deckschichtmächtigkeit oberhalb des Bemessungswassertandes bis zur Deichkrone kontinuierlich abnehmen. Im Zuge der Ausführungsplanung kann es sich aus technischen und / oder wirtschaftlichen Überlegungen ergeben, dass eine geringfügige Reduzierung der Deckschichtmächtigkeit in Richtung der Deichkrone als sinnvoll herausstellt.

Bemessung der Störsteine / Höhenversätze

Zur Reduzierung des Wellenauflaufes / Wellenüberlaufes sind auf der Außenböschung Störsteine vorgesehen. Durch die Anordnung der Störsteine / Höhenversätze wird eine höhere Rauigkeit der Oberfläche der Außenböschung erzielt, die durch einen Rauigkeitskoeffizienten γ_f in die Berechnung des Wellenüberlaufes mit einfließt.

Zur Abschätzung des Rauigkeitskoeffizienten wurden die Ansätze und Vergleichsbeispiele aus dem EurOtop 2018 angewendet. So wird zum einen ein vereinfachter Berechnungsansatz aufgezeigt als auch auf Ergebnisse aus unterschiedlichsten physikalischen Modellversuchen in Wellenkanälen aufgeführt.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Rauigkeitselemente unterhalb des Wasserspiegels nur einen sehr geringen, zu vernachlässigenden Einfluss auf den Wellenauflauf haben. Daher wurde

für den Eiderdamm Nord eine Anordnung der Rauigkeitselemente oberhalb des Bemessungswasserstandes von +6,00mNHN gewählt.

Bei der Wahl der Anordnung und Ausführung der Rauigkeitselemente wurden zwei Aspekte mit einbezogen:

- Erreichen eines hohen Rauigkeitskoeffizienten
- Wirtschaftlichkeit (Materialbedarf, Einbaubedingungen)

Höhenunterschied Oberkante Störsteine zu Oberkante der Deckschicht

Um eine ausreichende Stabilität der Störsteine sicher zu stellen müssen diese sicher in die Deckschicht einbinden, da durch den Wellenauflauf erhöhte horizontale Kräfte auf die Störsteine wirken. Daher soll der Höhenunterschied maximal der Stärke der Deckschicht entsprechen. Gemäß EurOtop 2018 liegt die optimale Höhe der Störsteine bei einem Verhältnis von Steinhöhe f_h zu Wellenhöhe H_{m0} bei 0,15. Bei der Bemessungswellenhöhe von 2,1m ergibt sich ein optimaler Höhenunterschied von 31,5cm. Dieser Höhenunterschied zieht jedoch eine unnötig und daher unwirtschaftliche Deckschichtmächtigkeit nach sich um die Stabilität zu gewährleisten. Es wird daher ein Höhenunterschied gewählt, der maximal der Mächtigkeit der Deckschicht entspricht. Da die gewählten Deckschichtsysteme unterschiedliche Stärken aufweisen, ergibt sich folglich ein Höhenunterschied zwischen 12 und 15cm.

Anordnung der Störsteine / Rauigkeitselemente

Zur Ermittlung des Rauigkeitsfaktors wurden unterschiedlichste Ansätze betrachtet die unter anderem die Anordnung der Störsteine, Länge der Störsteine, Abstand zwischen den Störsteinen als auch die Rauigkeitsdichte (bei mehreren Reihen hintereinander) mit einbeziehen. Da all diese Ansätze auf empirischen Versuchen basieren und enge Anwendungsgrenzen haben, sind die Ansätze nur bedingt auf den Eiderdamm übertragbar. Es wurde daher ein mittlerer Abminderungsfaktor von $\gamma_f = 0,76$ für die Wellenüberlaufberechnung angesetzt. Dieser Faktor basiert auf Untersuchungen von CAPEL von 2015 im Delta Flume in Delft, Niederlande. Bei diesen Untersuchungen wurden im Wellenkanal unterschiedlichste Anordnungen der Störsteine untersucht (Schachbrettmuster, Rippenanordnung, unterschiedlichste Überlappungen der Elemente bei mehreren Reihen hintereinander etc.). Für die Anordnung in Rippen wurde hier ein mittlerer Rauigkeitsfaktor von $\gamma_f = 0,76$ ermittelt. Vergleichbare Ergebnisse liefern auch weitere Untersuchungen z.B. SCHÜTTRUMPF 2014.

Auf Grundlage der verfügbaren Literatur und der dargestellten Untersuchungsergebnisse wurde für den Eiderdamm eine Anordnung der Rauigkeitselemente / Störsteine in Rippen-Anordnung gewählt (vgl. Abbildung 3).

Die Rippen werden oberhalb des Bemessungswasserstandes von +6,00mNHN in sechs hintereinanderliegenden Reihen mit Überlappung angeordnet. Die Wahl der Größe der einzelnen Rippen sowie der Abstand zwischen diesen orientiert sich dabei an den Abmessungen der ausgewählten Systeme aus Betonformsteinen / Betonsäulen. Da beide Systeme als Palettenware bezeichnet werden können (Lieferung auf die Baustelle erfolgt auf Europaletten) entspricht die Rippenbreite einer Lage auf einer Palette. Diese Abmessungen variieren um wenige Zentimeter je nach System. Überschlägig wurden die Abmessungen für eine Palettenlage von 1,00x1,10m angesetzt. Dadurch entsteht ein Abstand zwischen den Rippenreihen von 1,00m, eine Rippenlänge von 4,40m mit einem Abstand zwischen den Rippen innerhalb einer Rippenreihe von 2,20m. Durch diese Anordnung der Rippen wird zum einen eine hohe Rauigkeit auf der Außenböschung erzielt. Zum anderen ist durch diese Anordnung ein schneller Wellenablauf gewährleistet. Zudem vereinfacht die Wahl der Rippengröße den Bauablauf deutlich (z.B. im Vergleich zu einzelnen erhöhten Störsteinen). Dies sorgt für einen vereinfachten Einbau und stellt daher eine sehr wirtschaftliche Lösung dar.

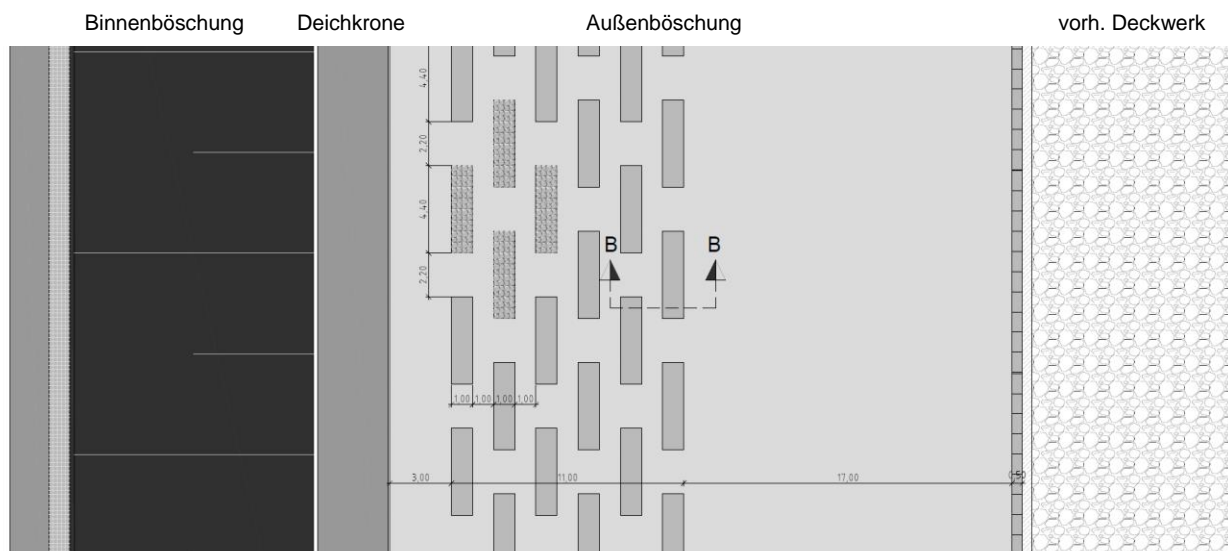


Abbildung 3: Lageplan mit Anordnung der Störsteine in Rippenform auf der Außenböschung

Anschluss an vorhandenes Deckwerk

Zwischen der neuen Befestigung der Deichaußenböschung und dem vorhandenen Schüttsteindeckwerk ist ein Betonformstein / Beton-Abschlussstein als Kopplungselement vorgesehen. Die Beton-Abschlusssteine (Größe ca. LxBxH 100x50x30 cm, Gewicht ca. 330 kg/m²) werden auf einem Betonfundament (Vorort-Beton) 0,40m tief gegründet. Durch diese Konstruktion werden Schubkräfte aus der Außenböschung aufgenommen und gleichmäßig verteilt. Dies verringert die Last auf das vorhandene Deckwerk und garantiert eine lange Lebensdauer. Der Zwischenraum zwischen Betonformsteinen und vorhandenem Schüttsteindeckwerk wird durch das Betonfundament formschlüssig hergestellt.

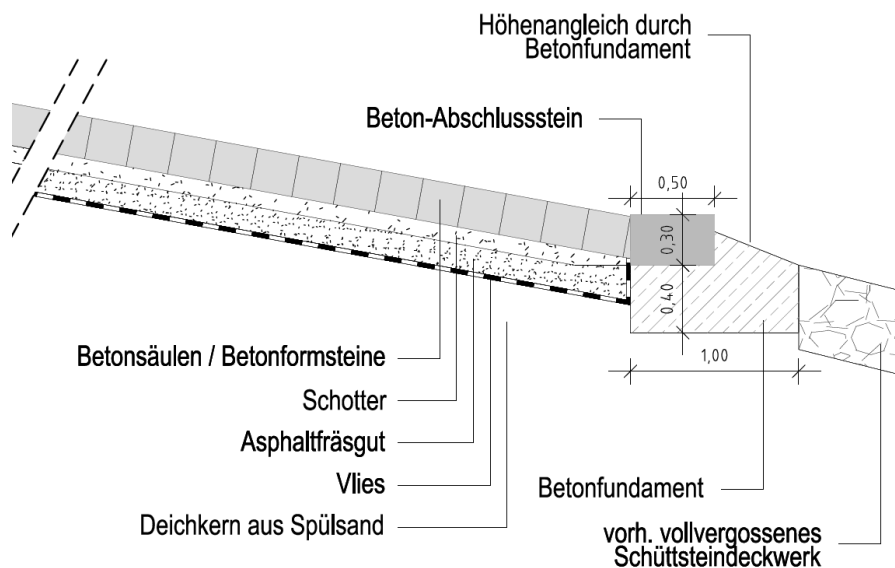


Abbildung 4: Querprofil Anschluss Außenböschung an vorhandenes Schüttsteindeckwerk

Die Beton-Abschlusssteine sollen, bis auf die Anschlussbereiche Vollerwiek und Leitdamm am Hafengebiete, auf einer konstanten Höhenlage hergestellt werden. Da das vorhandene Deckwerk eine leicht veränderliche Höhenlage aufweist, wird der entstehende Höhenunterschied im Zuge der Fundamentherstellung für den Beton-Abschlussstein mit ausgeglichen.

Bei Niederschlägen oder erhöhten Wasserständen tritt durch die Fugen zwischen den Betonformsteinen / Betonsäulen auf der Außenböschung Wasser in die darunterliegende Schotter-Schicht ein. Um zu verhindern, dass sich dieses Wasser am Beton-Abschlussstein sammelt und es im ungünstigsten Falle zu Frostschäden kommt, ist eine Entwässerung vorgesehen.

Die Schicht aus aufbereitetem Asphaltfräsgut wird bis an den Beton-Abschlussstein herangeführt und schließt hier höhengleich mit der Unterkante des Abschlusssteines an. Im Abstand von 10m wird zwischen den Abschlusssteinen eine Fuge von 5cm frei gelassen. An dieser Fuge wird auf den Höhenangleich durch das Betonfundament zum vorhandenen Deckwerk verzichtet. Über die Fugen ist somit eine Entwässerung der Schottertragschicht möglich.

6.7. Deichkrone

Auf der 4m breiten Deichkrone ist auf gesamter Länge des Deiches ein asphaltierter Deichkronenweg mit einer Breite von 3,50m vorgesehen. Die Asphaltbefestigung wird beidseitig mit Tiefborden eingefasst. Im Übergang zu den Böschungen, sowohl binnendeichs als auch außendeichs, ist jeweils ein Übergangsbereich / eine Schulter von ca. 0,20m vorgesehen. Die Schicht aus aufgearbeitetem Asphaltfräsgut unterhalb der Böschungen wird bis an die Tiefborde herangeführt. Die gesamte Deichkrone ist mit einer Querneigung von 2,5% in Richtung außendeichs geplant.

6.8. Binnenböschung

Die Binnenböschung ist mit einer Neigung von 1:2,5 geplant. Auf dem Deichkern aus Spülsand – der teilweise geringfügig an das neue Deichprofil angepasst werden muss – wird zur Gewährleistung der Filterstabilität ein Vlies aufgebracht. Auf diesem ist eine Schicht aus dem aufgearbeiteten Asphaltfräsgut mit einer erosionsfesten Abdeckschicht aus Mastixschotter vorgesehen. Der Fußpunkt der Binnenböschung wird größtenteils beibehalten. Als Abschluss am Fußpunkt der Böschung ist eine 20cm breite Schulter und ein Tiefbord vorgesehen.

6.9. Deichrampen und Übergänge

Auf dem gesamten Deichabschnitt befinden sich drei Rampen, die an den jeweiligen Stationierungen mit angepasster Längs- / Querneigung und Lage wiederhergestellt werden. Die drei Rampen sind alle mit dem identischen Querschnitt geplant, mit einer 3,50m breiten Asphaltbefestigung und einer Querneigung von 3%. Beidseitig werden die Rampen in Borde eingefasst, je nach Lage mit Tief- bzw. Hochborden. An diese schließt mit einem Übergang von 20cm jeweils die zugehörige Deichböschung an. Die Längsneigungen variieren, je nach Umsetzbarkeit bezüglich äußerer Randbedingungen / Zwangspunkte an der jeweiligen Stationierung zwischen 5% und 8%.

Rampe	Stationierung
Eiderstedt Nord	Zwischen -0+580 (außendeichs, Anschluss TAW) und -0+280 (binnendeichs)
Eiderstedt Süd	Zwischen -0+150 (binnendeichs DVW) und 0+030 (Deichkronenweg)
Hafenerschließung	Zwischen 3+000 (binnendeichs, Anschluss Landesstraße) und 3+150 (Anschluss Hafengelände)

Tabelle 5: Übersicht Rampen mit Stationierung

6.10. Deichverteidigungsweg/Radweg

Binnendeichs verläuft parallel zur Entwässerungsmulde am Deichfuß ein ca. 2,0m breiter Radweg der durch einen ca. 3,0m breiten Grünstreifen von der Landesstraße getrennt ist. Der Radweg wird im Zuge der Bauausführung für Transporte bzw. Baustellenverkehr genutzt werden. Es wird davon ausgegangen, dass dieser den Beanspruchungen nicht standhalten wird. Aus diesem Grund ist ein Neubau des Radweges in identischer Lage und Breite vorgesehen. Zudem kann so der Anschluss an das Tiefbord der neu herzustellenden Entwässerungsmulde am Deichfuß sauber hergestellt werden. Der Radweg soll in Asphaltbauweise mit einer Querneigung von 2,5% in Richtung des Deichfußes wiederhergestellt werden.

Im Anschlussbereich Vollerwiek im Norden der Deichverstärkung verläuft zwischen Baustation -0+580 und -0+300 parallel zur Deichbinnenböschung die öffentlich zugängliche Straße Süderdeich die zudem in diesem Bereich als Deichverteidigungsweg dient. Zwischen Deichfuß und

Straße liegt ein Grünstreifen von ca. 2,00m. Die Straße soll während der Baumaßnahme durchgängig befahrbar bleiben. Aufgrund des Abstandes des Deichfußes und der Straße wird eine Umsetzung der Baumaßnahme ohne Auswirkungen auf die Straße als realistisch eingestuft. Aufgrund der Bautätigkeit kann es aufgrund von Baustellenabsperungen zu einer Reduzierung der Fahrbahnbreite kommen.

6.11. Entwässerungsanlagen

Am Fußpunkt der Binnenböschung verläuft derzeit eine Entwässerungsmulde die mit Schächten im Abstand von 60m versehen ist. Von diesen Schächten aus verlaufen Entwässerungsleitungen quer unterhalb der Landesstraße zum angrenzenden Naturschutzgebiet. Die Leitungen werden beibehalten, die Schächte an gleicher Stelle erneuert und eine neue Entwässerungsmulde mit beidseitiger Tiefbordeinfassung hergestellt.

6.12. Bodenentnahmen

Für die Deichverstärkung wird voraussichtlich kein zusätzlicher Füllboden benötigt. Es kommt lediglich zu Umlagerungen des vorhandenen Füllbodens (Spülsand) innerhalb der Deichtrasse. Das benötigte Schottermaterial für die Außenböschung (ca. 12.000 m³) bedarf einer genormten Körnungslinie und muss daher aus kommerziellen Kiesgruben zugefahren werden.

6.13. Hafengebiet / Leitdamm

Das Hafengelände wird nördlich durch einen Leitdamm begrenzt, der nahtlos mit dem Landesschutzdeich verbunden ist und einen identischen Aufbau (Sandkern aus Spülsand, Asphaltbefestigung als Abdeckmaterial) aufweist. Zum Überplanten Bereich zählt hier der Leitdamm. Der Hafengebiet bestehend aus Kaimauer und zugehöriger Kaifläche in Betonbauweise ist nicht Bestandteil der Planung.

Der Leitdamm wird analog zum Landesschutzdeich mit einer Schicht aus aufbereitetem Asphaltfräsgut versehen. Abgedeckt wird der gesamte Leitdamm mit einer Schotter- sowie Betonformsteinen / Betonsäulen. Höhenversätze in Form von Rippen / Störsteinen sind hier nicht vorgesehen. Ebenso wird auf einen Kronenweg in Asphaltbauweise verzichtet. Das Profil des Leitdammes wird im Zuge des Neubaus größtenteils beibehalten. Die Verkehrsflächen im Hafengebiet, die derzeit mit einer Asphaltdeckschicht versehen sind, sollen mit einer Asphalttragdeckschicht wiederhergestellt werden.

Der Landesschutzdeich im Hafengebiet zwischen der Rampe zur Hafenerschließung und der Schleusenkammer wird nicht mit dem Regelprofil versehen werden, sondern mit einem modifizierten Profil welches die lokalen Randbedingungen berücksichtigt. Zum einen wird auf die Höhenversätze / Störsteine verzichtet um den Anforderungen der WSV in diesem Bereich gerecht zu werden (Befahrbarkeit der gesamten Außenböschung). Zum anderen wird in diesem Übergangsbereich

die Deichkrone zwischen Stat. 3+100 und 3+200 von +9,00mNHN auf die Bestandshöhe von +8,50mNHN mit konstanter Neigung abgesenkt. Dies ermöglicht einen höhengleichen Anschluss an die Wände der Schleusenkommer. Die vor diesem Deichabschnitt liegenden Hafenanlagen sorgen für eine Dämpfung bzw. Reduzierung der Seegangsbelastungen am Deichfuß. Eine rechnerische Überprüfung des Wellenüberlaufes des neuen Deichprofils in diesem Abschnitt mit der reduzierten Seegangsbelastung ergab eine Überlaufrate von maximal 0,4 l/s*m. Trotz dem Verzicht auf die Rauigkeitselemente und einer Deichkronenerhöhung weist das Deichprofil ein sehr hohes Sicherheitsniveau auf.

6.14. Bereich zwischen Schleuse und Sperrwerk

Aufgrund der lokalen Randbedingungen im Übergangsbereich zwischen Schleusenwand und Hochwasserschutzwand am Eidersperrwerk wird dieser ca. 20m lange Abschnitt mit einem modifizierten Deichprofil erneuert. So wird zum einen auf die Höhenversätze / Störsteine verzichtet um den Anforderungen der WSV in diesem Bereich gerecht zu werden (Befahrbarkeit der gesamten Außenböschung um die Mole mit Fahrzeugen erreichen zu können). Zudem wird auf eine Erhöhung der Deichkrone verzichtet, die Deichkronenhöhe bleibt auf Ihrer Bestandshöhe von +8,50mNHN. Somit ist ein höhengleicher Anschluss an die Schleusenwand sowie die Hochwasserschutzwand am Eidersperrwerk möglich. Auch die Böschungsneigungen folgen den Bestandsneigungen. Es erfolgt lediglich eine Sanierung der Deckschicht in diesem Bereich des Landesschutzdeiches. Diese Sanierung erfolgt analog zum Aufbau der Deckschicht im Regelprofil. Außenböschung: Schicht aus aufbereiteten Asphaltfräsgut, Schotterschicht, Abdeckschicht aus Betonformsteinen / Betonsäulen. Binnenböschung: Schicht aus aufbereiteten Asphaltfräsgut, Abdeckschicht aus Mastixschotter.

Wie beim Abschnitt direkt nördlich der Schleuse sorgen die vor diesem Deichabschnitt liegenden Hafenanlagen bzw. die Mole für eine Dämpfung bzw. Reduzierung der Seegangsbelastungen am Deichfuß. Eine rechnerische Überprüfung des Wellenüberlaufes des neuen Deichprofils in diesem Abschnitt mit der reduzierten Seegangsbelastung ergab eine Überlaufrate von maximal 0,9 l/s*m. Trotz dem Verzicht auf die Rauigkeitselemente und einer Deichkronenerhöhung weist das Deichprofil ein sehr hohes Sicherheitsniveau auf.

6.15. Einrichtungsflächen

Als Baustelleneinrichtungsflächen stehen zwei Flächen zur Verfügung, die jeweils für zwei Bauabschnitte vorgesehen sind. BE I / II und BE III / IV.

Im nördlichen Anschlussbereich Vollerwiek steht die Fläche BE I / II zwischen der Landesstraße und dem Landesschutzdeich zur Verfügung. Die Fläche (Flurstück 155, Flur 39, Gemarkung Tönning) hat eine Größe von ca. 8600m² und befindet sich im Eigentum der Küstenschutzverwaltung Schleswig-Holstein. Von dieser Fläche aus sollen die Bauabschnitte 1 und 2 (von Stat. -0+580 bis

1+200) bedient werden. Mittels temporären Deichdurchstich kann der Deich direkt erreicht werden. Die Fläche grenzt direkt an die L305. Hier wird eine asphaltierte Zuwegung vorgesehen von der die Fläche aus erreicht werden kann. Bei der Fläche handelt es sich um Grünland. Daher ist die Fläche die für die Baustelleneinrichtung benötigt wird mit Vlies und einer Schottertragschicht abzudecken. Nach Beendigung der Arbeiten wird die Fläche wieder in Ihren ursprünglichen Zustand zurückversetzt.

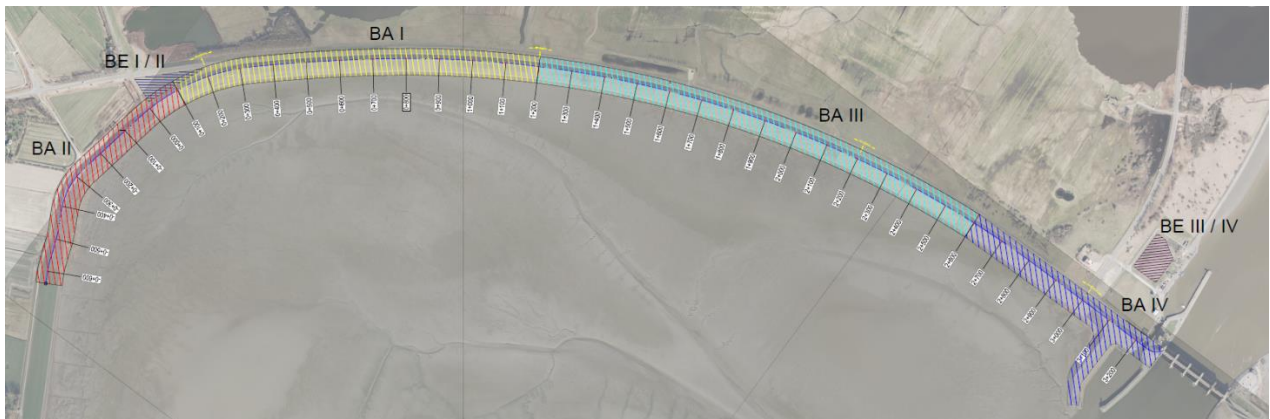


Abbildung 5: Lageplan Baustelleneinrichtung sowie zugehörige Bauabschnitte

Im Süden steht die Fläche BE III / IV auf dem Sperrwerks- / Hafengelände der WSV zur Verfügung (Östlicher Teilbereich des Flurstücks 136, Flur 39, Gemarkung Tönning). Die Fläche hat eine Größe von ca. 10.000m², grenzt an den Binnenhafen am Sperrwerk und wird teilweise als Zwischenlagerfläche durch die WSV genutzt. Von hier aus sollen die Bauabschnitte 3 und 4 (von Stat. 1+200 bis 3+270) bedient werden. Die Fläche kann direkt von der K41 erreicht werden. Eine asphaltierte Zuwegung ist vorhanden. Eine Zuwegung zum Deich erfolgt über die K41 und Querung der L305. Im Kreuzungsbereich ist im Deichkörper ein Deichdurchstich vorgesehen. Um die Zuwegung zur bzw. von der Baustelle mit Querung der L305 zu verbessern, ist die temporäre Einrichtung einer Lichtsignalanlage mit dem LBV.SH zu diskutieren.

Eine Herrichtung der Baustelleneinrichtungsfläche und nach deren Nutzung Wiederherstellung wird mit dem WSV im Detail zu klären sein.

6.16. (Zwischen-) Lagerflächen

Als (Zwischen-) Lagerflächen können neben den zuvor beschriebenen Einrichtungsflächen auch in geringerem Umfang Teile der Deichaußenböschung verwendet werden.

6.17. Bauablauf / Bauzeiten / relevante Massenbewegung

Die Verstärkung des Landesschutzdeiches soll voraussichtlich innerhalb von vier Jahren durchgeführt werden. Vorläufig kann die Baumaßnahme in vier Bauabschnitte aufgeteilt werden, wobei jeder Bauabschnitt innerhalb eines Baujahres fertig gestellt werden soll. Bei der Abgrenzung der

Bauabschnitte wurde die räumliche Verteilung der Brutvorkommen der Seeregenpfeifer berücksichtigt.

Die Anschlussbereiche sind deutlich komplexer als die Teilbereiche auf gerader Strecke. Im Norden überquert eine Rampe den Deich, im Süden ist mit dem Hafenbereich, Anschluss Schleuse, Anschluss Sperrwerk sowie einer Rampe die deutlich höchste Komplexität vorhanden. Aus diesem Grund werden diese Bauabschnitte kürzer gewählt als die Abschnitte dazwischen. Vorläufig ergibt sich folgende Aufteilung (bauablaufbedingte geringfügige Anpassungen vorbehalten):

Bauabschnitt	Baustationierung	Länge
BA I	+0+100 bis +1+200	1.100 m
BA II	-0+580 bis +0+100	680 m
BA III	+1+200 bis +2+600	1.400 m
BA IV	+2+600 bis +3+270	670 m

Tabelle 6: Übersicht Bauabschnitte

Die Bauabschnitte BA I und BA II nutzen die nördliche Baustelleneinrichtungsfläche. Diese wird über eine provisorische Rampe oder Deichdurchstich ca. bei Baustation 0+000 an den Deich angeschlossen. Da für den BA II ca. 6.000 m³ Füllboden benötigt werden, muss mit dem BA I begonnen werden. Aufgrund der Profilanpassung muss in diesem Bereich Spülsand des Deichkerns abgetragen werden. Der Füllboden wird auf der Baustelleneinrichtungsfläche zwischengelagert und im BA II als Füllboden zur Profilanpassung wieder eingebaut.

Vorbehaltlich Messungenauigkeiten der Laserscandaten und der GNSS Aufmaße die die Datengrundlage des Urgeländes bilden, sind die Bauabschnitte in ihrer Größe so gewählt, dass der Füllboden der in einem Bauabschnitt abgetragen wird vom Volumen her im benachbarten Bauabschnitt restlos eingebracht werden kann. Infolge dessen wird kein zusätzlicher Füllboden benötigt bzw. bleibt kein Füllboden der im Deich abgetragen wurde übrig. Es kommt lediglich zu einer Umlagerung des Füllboden innerhalb der Deichtrasse zwischen den Bauabschnitten.

Die Bauabschnitte BA III und BA IV nutzen die südliche Baustelleneinrichtungsfläche auf dem Betriebsgelände der WSV am Sperrwerk. Die Baustelle ist über die K41 und Querung der L305 über einen Deichdurchstich zu erreichen. Mögliche Verkehrssicherungsmaßnahmen im Kreuzungsbe-
reich K41 / L305 werden im Zuge des Genehmigungsverfahrens über Beteiligung des LBV.SH zu klären sein. Ähnlich wie bei den BA I und BA II muss im BA III bei der Profilanpassung ca. 2.000m³ Füllboden abgetragen werden. Dieser wird auf der Baustelleneinrichtungsfläche zwischengelagert und im BA IV wieder eingebaut.

Im Zuge der Bauausführung kann eine geringfügige Anpassung der Bauabschnitte in ihrer jeweiligen Länge nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Auch eine geringfügige Anpassung des Profils

im cm-Bereich ist möglich, immer mit dem Ziel verbunden, jeglichen abgetragenen Füllboden vollständig wieder einzubauen bzw. keinen zusätzlichen Füllboden zu benötigen.

Das vorhandene Deckwerk reicht bis zu einer Höhenlage von im Mittel 3,00mNHN und somit ca. 1,50m oberhalb des MThw. Da das Deckwerk vollständig erhalten bleiben soll beginnen die Arbeiten somit auch oberhalb von 3,00mNHN. Aus diesem Grund kann auf einen Kajedeich verzichtet werden und dieser Arbeitsvorgang entfällt dementsprechend.

Grundsätzlich ist folgende Abfolge an Arbeiten im Bauablauf vorgesehen:

- Entfernen der vorhandenen Asphaltbefestigung mittels Fräse außendeichs (ca. 140.000m²) und herausbrechen mittels Bagger auf der Binnenseite (ca. 60.000m²).
- Verfahren des Asphaltabbruchs (ca. 30.000m³) auf die jeweilige Baustelleneinrichtungsfläche und Aufbereitung des Asphaltmaterials.
- Herstellung des Anschlusses an das vorhandene Schüttsteindeckwerk (Auskoffern für Betonfundament und Abschlussstein, Herstellen des Betonfundamentes und Setzen der Abschlusssteine (ca. 3.900lfm)).
- Profilierung des Deichkerns aus Spülsand (In BA I und BA III Abtransport des überschüssigen Spülsandes auf Baustelleneinrichtungsfläche (ca. 15.000m³) bei BA II und BA IV Zufahren des Spülandes und profilgerechter Einbau am Deichkörper).
- Herstellung der Deichkrone (Setzen der Tiefborde, ca. 7.250lfm)
- Verlegung von Vlies auf der Binnen- als auch Außenböschung (ca. 200.000m²).
- Einbau des aufbereiteten Asphaltfräsgutes auf der Außenböschung und Binnenböschung mit jeweiligem Anschluss an Deichfuß und Tiefbord an der Deichkrone (ca. 30.000m³).
- Herstellung der Außenböschung (Aufbringen der Schottererschicht ca. 12.000m³, Verlegung der Betonformsteine / Betonsäulen von Deichfuß in Richtung Deichkrone ca. 120.000m²).
- Herstellung der Binnenböschung (Herstellung der Entwässerungsmulde am Deichfuß ca. 3.900lfm, Einbau der Mastixschotter-Deckschicht, ca. 60.000m²).
- Sanierung des Radweges binnendeichs zwischen Deich und Landesstraße.
- Asphaltieren der Deichkrone.

Teilweise können die Arbeiten auch parallel zueinander durchgeführt werden um die vorgegebene Bauzeit einhalten zu können. Vorgesehen ist, dass der Deichkern eine möglichst kurze Zeitspanne ohne jegliche Abdeckung freiliegt. Zum einen ist dies wichtig, um bei starken Winden Sandflug und somit Materialverluste zu vermeiden, zum anderen um die Außenböschung gerade im unteren Bereich möglichst schnell wieder zu schließen um bei sommerlichen Sturmflutwasserständen eine widerstandsfähige Böschung gewährleisten zu können.

Material	Menge	Transport innerhalb Baustelle / Lieferung von extern
Vorhandene Asphaltbefestigung	ca. 30.000 m ³	Innerhalb Baustelle
Aufbereitung und Wiedereinbau Asphaltabbruch	ca. 30.000 m ³	Innerhalb Baustelle
Betonabschlussstein	ca. 3.900 lfm	Von extern
Profilierung Spülsand Deichkern	ca. 15.000 m ³	Innerhalb Baustelle
Tiefborde Deichkrone / Entwässerungsmulde binnen	ca. 11.150 lfm	Von extern
Vlies für Böschungen	ca. 200.000 m ²	Von extern
Schotter Außenböschung	ca. 12.000 m ³	Von extern
Betonformsteine / Betonsäulen	ca. 120.000 m ²	Von extern
Asphalt (Deichkrone / Radweg)	ca. 18.500 m ²	Von extern
Mastixschotter Binnenböschung	ca. 60.000 m ²	Von extern

Tabelle 7: relevante Massenbewegungen

6.18. Bauzwischenzustände / Wintersicherung

Die vier Bauabschnitte sollen jeweils komplett vor Beginn der Sturmflutseason vollständig fertig gestellt werden. Somit muss nur das jeweilige Bauende mit einer Wintersicherung versehen werden. Im Übergangsbereich zwischen Neubau und Bestand ist vorgesehen, den Profilübergang mit Asphaltfräsgut verdichtet herzustellen. Somit ist die offene Seite des Neubaus gegenüber Wellenangriff erosionsfest gesichert.

Die Wintersicherung wird bei BA I sowohl am Bauende als auch Bauanfang notwendig sein. BA II benötigt keine Wintersicherung, da dieser BA sowohl an den fertig gestellten BA I als auch an den Gründeich Vollerwiek anschließt. Der BA III benötigt eine Wintersicherung am südlichen Bauende. Beim BA IV wird keine Wintersicherung notwendig, da dieser an den fertig gestellten BA III und an die Schleuse und das Sperrwerk anschließt.

Spülsand aus dem Deichkern der auf den Baustelleneinrichtungsflächen zwischengelagert werden muss, wird über die Wintermonate in geeigneter Weise abgedeckt um eventuellen Sandflug zu verhindern.

6.19. Zufahrtswege und Baustellenverkehr

Zufahrtswege

Die Baustelle ist sowohl von Norden als auch von Süden über die L305 zu erreichen. Die Baustelleneinrichtungsfläche BE I / II im Norden ist direkt von der L305 zu erreichen. Die Baustelleneinrichtungsfläche BE III / IV ist über die K41, die in die L305 mündet, zu erreichen.

Baustellenverkehr

Innerhalb der Bauabschnitte erfolgt der Baustellenverkehr je nach Fortschritt der Arbeiten auf der Deichkrone, der Außenböschung sowie dem Radweg binnendeichs.

Die Bauabschnitte BA I sowie BA II sind direkt von der Baustelleneinrichtungsfläche BE I / II zu erreichen. Bei Bautätigkeit in diesen Abschnitten wird somit kein weiterer Bauabschnitt beeinträchtigt. Auch der Bauabschnitt BA IV ist direkt von der Einrichtungsfläche BA III / IV über einen temporären Deichdurchstich zu erreichen. Lediglich bei der Umsetzung des BA III wird ein weiterer Bauabschnitt, in diesem Falle der BA IV, auf einer Länge von ca. 500m für den Baustellenverkehr beansprucht werden. Der Baustellenverkehr wird von der Einrichtungsfläche durch einen Deichdurchstich an den Deich geführt. Vom dort aus ist ein 10m breiter Korridor auf der Deichkrone bis zum Bauabschnitt BA III für den Transport vorgesehen.

Der jeweilige Bauabschnitt ist sowohl am Bauanfang als auch Bauende quer zum Deich mit Bauzäunen abzusperren um unbefugtes Betreten zu verhindern. Da der Radweg binnendeichs mit zum Baubereich zählt ist auch dieser zu sperren. Der Radweg muss provisorisch auf die Landesstraße verlegt werden. Somit ist eine Verjüngung der Fahrspuren auf der Landesstraße sowie eine Trennung des Radweges von den Fahrspuren mittels Baken notwendig und ist mit dem LBV.SH abzustimmen. Zum Baubereich hin ist der Radweg mit Bauzäunen zu trennen.

6.20. Kostenberechnung

Die Kostenermittlung basiert auf Baupreisen von Baumaßnahmen des LKN.SH aus den Jahren 2020 / 2021, sofern vergleichbare Leistungen vorhanden waren. Für alle weiteren Leistungen wurden aktuelle Baustoffpreise (Stand Februar 2021) bei Fachhändlern angefragt sowie bei Baufirmen in Bezug auf Personalkosten sowie Einbau- und Gerätekosten Preise angefragt.

Auf dieser Grundlage belaufen sich die zu erwartenden Kosten gemäß der Mengen- und Kostenberechnung auf **26.1 Mio. €** (inkl. 19% MwSt.).

Diese Kosten können sich jedoch je nach Entwicklung der Materialkosten sowie Lohn- und Gerätekosten bis zu einer Umsetzung der Baumaßnahme noch verändern.

7. Zusammenfassung

Der Landesschutzdeiches „Eiderabdämmung“ weist auf einer Länge von 5,2 km teilweise erhebliche Schäden in der vorhandenen Deichdeckschicht aus Asphalt auf. Durch einen Sandaustrag aus dem Deichkern durch entstandene Risse in der Asphaltoberfläche sowie teilweiser Setzungen aufgrund des örtlich weichen Baugrundes hat sich die Deichkrone bereits um bis zu 40 cm abgesenkt. Ohne Gegenmaßnahmen sind weitere Absenkungen zu erwarten, die wiederum zu einer Abnahme der Wehrfähigkeit führen.

Daher plant das Land Schleswig-Holstein, endvertreten durch den Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz (LKN.SH) die Verstärkung des Landesschutzdeiches „Eiderabdämmung“. Im Bereich südlich des Eidersperrwerkes – „Eiderdamm Süd“ – wurden in den Jahren 2019 / 2020 umfangreiche Küstenschutzmaßnahmen durchgeführt. Planungsraum dieser Unterlage ist der nördlich des Eidersperrwerkes gelegene Bereich der Eiderabdämmung – „Eiderdamm Nord“.

Im Rahmen der Genehmigungsplanung wurde eine umfangreiche Variantenbetrachtung durchgeführt. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Scoping-Termins vom 19.10.2017 wurden weitere Varianten betrachtet. Es wurden insgesamt fünf unterschiedlichste Varianten dargestellt und hinsichtlich ihrer Eigenschaften in Bezug auf den Küstenschutz, Flächen- und Bodenbedarf, Wirtschaftlichkeit sowie den Naturschutz bewertet.

Im Ergebnis wurde eine Vorzugsvariante entwickelt und detailliert ausgearbeitet, die die folgenden Eigenschaften / Merkmale aufweist:

- Basisdeichverstärkung mit Deichprofilanpassung
- Erhöhung der Deichkrone auf +9,00mNHN
- Erhalt des vorhandenen, teilweise von Wattflächen überlagerten, vollvergossenen Schüttsteindeckwerkes, kein Eingriff in Wattflächen
- Aufarbeitung und Wiederverwendung der vorhandenen Asphaltoberfläche als gering wasserundurchlässige Schicht
- Abdeckschicht Binnendeichs aus erosionsfesten Mastixschotter
- Abdeckschicht Außendeichs aus Betonformsteinen / Betonsäulen
- Anordnung von Höhenversätzen / Störsteinen auf der Außenböschung, Reduzierung des Wellenaufbaus zum Erreichen eines sehr hohen Sicherheitsniveaus

Dabei berücksichtigt der Entwurf in besonderen Maße die örtlichen Begebenheiten der „Eiderabdämmung“. So wird das gering wasserundurchlässige Deichsystem beibehalten und das vorhandene vollvergossene Schüttsteindeckwerk kann erhalten werden. Durch die geringe Profilanpassung wird der zusätzliche Lasteintrag in den Baugrund (ehemalige Flussmündung) geringgehalten und

es kann auf großflächige Vorbelastungen und voraussichtlich auf zusätzlichen Füllboden verzichtet werden. Durch die Anordnung von Höhenversätzen / Störsteinen wird dabei ein vergleichbares Sicherheitsniveau eines Klimaprofils erreicht.

Die Ausführung erstreckt sich voraussichtlich über vier Baujahre. Zur Sicherung der ausgeführten Leistung im Übergangsbereich wird für die Deichschutzzeit eine Wintersicherung hergestellt.

Die gerundeten Kosten, inkl. 19% MwSt., betragen gemäß Kostenberechnung (Stand Februar 2021) für die Vorzugsvariante in etwa 26,1 Mio. € (vgl. Kap. 6.20).

ANLAGENVERZEICHNIS

Planverzeichnis

- 1.1 Übersichtskarte
- 1.2 Übersichtsplan, M 1:25.000

- 2.1 Übersichtslageplan, M 1:5.000
- 2.2 Lageplan, 1:1.000
- 2.3 Lageplan, 1:1.000
- 2.4 Lageplan, 1:1.000
- 2.5 Lageplan, 1:1.000
- 2.6 Lageplan, 1:1.000
- 2.7 Lageplan Baustelleneinrichtungsflächen, Bauabschnitte, M 1:5.000

- 3.1 Querprofil Regelprofil Stat. 1+800, M 1:100
- 3.2 Querprofil Stat. -0+500, M 1:100
- 3.3 Querprofil Stat. -0+300, M 1:100
- 3.4 Querprofil Stat. 0+300, M 1:100
- 3.5 Querprofil Stat. 0+800, M 1:100
- 3.6 Querprofil Stat. 1+300, M 1:100
- 3.7 Querprofil Stat. 2+300, M 1:100
- 3.8 Querprofil Stat. 2+800, M 1:100
- 3.9 Querprofil Stat. 3+180, M 1:100
- 3.10 Querprofil Stat. 3+245, M 1:100
- 3.11 Querprofil Regelprofil Leitdamm am Hafengelände, M 1:100

- 4.1 Lageplan Variantenvergleich, M 1:5.000
- 4.2 Querprofil Variantenvergleich Stat. 1+800, M 1:100

Geotechnisches Gutachten

Geotechnischer Bericht 2016/02

Ergänzung des Geotechnischen Berichtes 2016/02 vom 17.02.2021

Asphaltgutachten

Prüfbericht qualitativer Pechnachweis, PAK-Gehalt aus 2015

Prüfbericht Aufbereitung Asphaltfräsgut aus 2021

Übersicht betroffene Flurstücke