

Stadt Heiligenhafen

Der Bürgermeister

Markt 4 - 5
23774 Heiligenhafen

Telefon: 0 43 62 / 906 6
Telefax: 0 43 62 / 6748

TESTBUHNEN UND STRANDAUFSPÜLUNGEN STEINWARDER

Entwurfsplanung

- Erläuterungsbericht -



INGENIEURBÜRO MOHN GmbH Beratende Ingenieure

Industriestraße 36
25813 Husum

Telefon: 04841/8361 - 0
Telefax: 04841/8361 - 22

1	VERANLASSUNG	1
2	GRUNDLAGEN	1
2.1	Planungsgrundlagen.....	1
2.2	Wasserstände.....	2
2.3	Seegang und Wellenbelastung.....	2
2.3.1	Maßgebender Seegang.....	2
2.3.2	Wind.....	2
2.3.3	Seegangsberechnung.....	2
2.3.4	Wellenhöhen im Strandbereich.....	4
2.4	Sturmflutwasserstand.....	8
2.5	Küstennaher Sedimenttransport im Planungsgebiet.....	8
2.6	Wirkungsweise von Buhnen.....	10
3	BESTAND	11
3.1	Allgemeines.....	11
3.2	Buhnenfeld 1.....	11
3.3	Buhnenfeld 2.....	12
3.4	Ostseestrand.....	13
4	BESCHREIBUNG DER MASSNAHME	14
4.1	Testbuhnenfeld.....	14
4.1.1	Bemessung der Buhnen.....	14
4.1.2	Testbuhnenfeld 1.....	19
4.1.3	Testbuhnenfeld 2.....	20
4.2	Sandaufspülungen.....	21
4.2.1	Allgemeines.....	21
4.2.2	Sandaufspülbereich 1.....	21
4.2.3	Sandaufspülbereich 2.....	22
4.2.4	Zusammenfassung Sandaufspülung.....	22
5	AUSWIRKUNG DER MASSNAHME	23

5.1	Auswirkung der Testbühnenfelder	23
5.2	Auswirkung der Sandaufspülung	25
6	BAUABLAUF UND BAUZEIT	25
6.1	Bauablauf.....	25
6.2	Bauzeit.....	26
7	BAUKOSTEN	27
ANHANG	28

1 VERANLASSUNG

Die Stadt Heiligenhafen liegt an der Ostseeküste auf der Halbinsel Wagrien. Vorgelagert vor der Stadt liegen die Nehrungshaken Steinwarder und Graswarder. Die Küste ist in diesem Bereich nach Norden exponiert. Durch die vorwiegend aus westlicher Richtung kommende Strömung wird das Sediment küstenparallel vom Steinwarder in Richtung Graswarder transportiert. Trotz Steinbuhnen und Schutzdünenverstärkungen entlang der Steinwarder Außenküste sind an einigen Strandabschnitten relativ großflächige Erosionsbereiche feststellbar. Besonders betroffen von der Erosion sind der Hauptbadestrand Steinwarder West sowie der Übergang zwischen Steinwarder und Graswarder. In der Vergangenheit wurden bereits diverse Küstenschutzmaßnahmen durchgeführt, um den Küstenrückgang am Steinwarder zu reduzieren, darunter Sandaufspülungen, Buhnenbau und Dünenfußsicherung.

Die Ingenieurbüro Mohn GmbH, Beratende Ingenieure wurde von der Stadt Heiligenhafen vertreten durch die Heiligenhafener Verkehrsbetriebe GmbH & Co.KG beauftragt, eine Küstenschutzmaßnahme zu planen. Die Maßnahme sieht den Bau von Testbuhnenfeldern vor. Da durch die Buhnenfelder nur die Verweildauer der im System zur Verfügung stehenden Sandmassen verlängert wird und der Vorstrandbereich lediglich über eine geringe Sedimentauflage verfügt, sind Sandzugaben in Form einer Aufspülung geplant. Das Ziel der Maßnahme soll neben dem Küstenschutzgedanken die Verbesserung des Strandes sein.

2 GRUNDLAGEN

2.1 Planungsgrundlagen

- Peilung vom 12.03.2015 durch die Nicola Engineering GmbH, Halstenbek
- Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hrsg.): Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken durch den Ausschuss für Küstenschutzwerke. Heft 55. Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens & Co., 1993.
- Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hrsg.): Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken durch den Ausschuss für Küstenschutzwerke. Heft 65. Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens & Co., 2002.
- TRAMPENAU, T.; OUMERACI, H.: Wirkungsweise durchlässiger Pfahlbuhnen für den Küstenschutz. Die Küste, Heft 64, S. 235 – 275, 2001.

2.2 Wasserstände

Die Hauptwasserstände am Pegel Heiligenhafen betragen für die Jahresreihe 2000/2010:

HW	NN + 1,86 m (01.11.2006)
MHW	NN + 1,25 m
MW	NN + 0,06 m
MNW	NN - 1,29 m
NW	NN - 1,35 m (09.01.2005).

2.3 Seegang und Wellenbelastung

2.3.1 Maßgebender Seegang

Der maßgebende Seegang tritt im Bereich Heiligenhafen aus einem Sektor zwischen rd. 285° und 360° auf. Für die Berechnung der signifikanten Wellenhöhen wird mit diesem geometrisch begrenzten Windfeld gerechnet. Damit kann die tatsächliche Windeinwirklänge (Fetchlänge) am genauesten ermittelt werden. Für die Seegangsberechnung wird mit unterschiedlichen Fetchlängen in 5 Sektoren von jeweils rd. 15° gerechnet. Des Weiteren wird zunächst mit einer Wassertiefe von i. M. 20 m gerechnet.

2.3.2 Wind

Es werden für die Ermittlung der signifikanten Wellenhöhen Winddaten der Station Heiligenhafen verwendet (s. Anhang).

Im geometrisch begrenzten Windfeld kommt der Wind in Heiligenhafen vorwiegend aus NNW. Die mittlere Geschwindigkeit beträgt 5 m/s. Im Seegebiet zwischen Heiligenhafen und Dänemark treten im Extremfall deutlich höhere Geschwindigkeiten auf, so dass für die Berechnung eine Geschwindigkeit von 20 m/s angesetzt wird.

2.3.3 Seegangsberechnung

Die Wellenparameter werden mit dem Computerprogramm ACES (Automated Coastal Engineering System) des U.S. Army Corps of Engineers ermittelt. Das Programm basiert auf den üblichen Seegangsvorhersageverfahren des Shore Protection Manual (SPM) 1984. Das Programm erlaubt auch eine Berechnung der Wellenparameter bei einem geometrisch begrenzten Fetch wie oben dargestellt. Es wird von einer bemessungsrelevanten Windgeschwindigkeit von 20 m/s (= Bft 8 - 9) ausgegangen.

Bis zu einer Winddauer von 6,5 Stunden handelt es sich im vorliegenden Fall um den dauerbegrenzten Seegang, d. h. die signifikante Wellenhöhe steigt mit zunehmender Winddauer an. Ab einer Winddauer von 6,5 Stunden ist der Seegang fetchbegrenzt, d. h. es

handelt es sich um einen voll ausgereiften Seegang, die Wellenhöhen steigen auch bei einer längeren Winddauer nicht weiter an. Die Berechnung wird für eine Winddauer von 7 Stunden durchgeführt.

Es ergeben sich die folgenden Seegangparameter für Tiefwasserbedingungen (Windrichtung im Windfeld: 337,50°) (die durchschnittliche Fetchlänge beträgt rd. 75 km):

Signifikante Wellenhöhe: $H_s = H_{m0} = 2,62 \text{ m}$

Signifikante Wellenperiode: $T_p = 6,20 \text{ s}$.

Item	Value	Units
El of Observed Wind	Zobs: 10.00	m
Observed Wind Speed	Uobs: 15.10	mps
Air Sea Temp. Diff.	ΔT: 0.00	deg C
Dur of Observed Wind	DurO: 7.00	hr
Dur of Final Wind	DurF: 7.00	hr
Lat. of Observation	LAT: 54.00	deg
Wind Fetch Length	F: 75.00	km
Wind Direction		337.50 deg
Eg Neutral Wind Spd	Ue: 15.08	mps
Adjusted Wind Speed	Ua: 20.01	mps
Mean Wave Direction		338.00 deg
Wave Height	Hm0: 2.62	m
Wave Period	Tp: 6.20	sec

Wave Growth: Deep-water Fetch-limited

Abbildung 1: Wellenparameter im Tiefwasser [ACES]

Um echte Tiefwasserbedingungen vorliegen zu haben, müsste die Wassertiefe mindestens rd. 40,0 m betragen. Im vorliegenden Fall liegt die durchschnittliche Wassertiefe jedoch lediglich bei 20,0 m. Deshalb wird die Berechnung für Flachwasserbedingungen mit einer Wassertiefe von 20,0 m wiederholt.

Für den Bereich vor Heiligenhafen ergibt sich:

Signifikante Wellenhöhe: $H_s = H_{m0} = 2,12 \text{ m}$

Signifikante Wellenperiode: $T_p = 5,20 \text{ s}$.

ACES Mode: Single Case Functional Area: Wave Prediction
 Application: Wind Adjustment and Wave Growth

Item	Value	Units
E1 of Observed Wind	Zobs: 10.00	m
Observed Wind Speed	Uobs: 15.10	mps
Air Sea Temp. Diff.	ΔT: 0.00	deg C
Lat. of Observation	LAT: 54.00	deg
Wind Fetch Length	F: 75.47	km
Avg Fetch Depth	d: 20.00	m
Wind Direction	337.50	deg
Eg Neutral Wind Spd	Ue: 15.08	mps
Adjusted Wind Speed	Ua: 20.01	mps
Mean Wave Direction	319.00	deg
Wave Height	Hmo: 2.12	m
Wave Period	Tp: 5.20	sec

Wave Growth: Shallow-water Fetch-limited

Wind Obs Type: Overwater (ship), Overwater, Shore (windward), Shore (leeward), Inland, Geostrophic

Wind Fetch Options: Open Water, Restricted

Options: F1: New Case, F3: Print, F10: Exit Appli

Abbildung 2: Wellenparameter im Flachwasser [ACES]

Für die weiteren Berechnungen sind die Wellenparameter im Flachwasser maßgebend.

2.3.4 Wellenhöhen im Strandbereich

Brechen

Die Änderung der Wellenhöhe für unregelmäßige Wellen kann nach Diagrammen gemäß GODA ermittelt werden. Es stehen u. a. Diagramme für Geländeneigungen von 1:100 und von 1:30 zur Verfügung. Für den betrachteten Küstenabschnitt in Heiligenhafen ergeben sich folgende signifikante Wellenhöhen:

Wassertiefe d = 4,0 m

Neigung 1:30 $H_s = 2,01$ m

Wassertiefe d = 3,0 m

Neigung 1:30 $H_s = 1,84$ m

Wassertiefe d = 2,0 m

Neigung 1:30 $H_s = 1,44$ m

Wassertiefe d = 1,0 m

Neigung 1:30 $H_s = 0,85$ m

Refraktion

Durch Refraktion, d. h. durch das Einschwenken der Wellen auf den Strand bei schräger Wellenanlaufichtung, wird die Wellenhöhe weiter verändert. Bei geraden Strandabschnitten wird sich die Wellenhöhe reduzieren, bei Vorsprüngen kann sich durchaus eine größere

Wellenhöhe ergeben, während in Buchten die Wellenhöhe gegenüber einer geraden Küstenlinie noch mehr abnehmen kann.

Im Bereich der geplanten Testbuhnenfelder lässt sich der Einfluss der Refraktion abschätzen. Hierzu wird das Orthogonalenverfahren angewendet. Dem Orthogonalenverfahren liegt das SNELLSche Gesetz zur Lichtbrechung zu Grunde:

$$\sin \alpha_2 = \frac{c_2}{c_1} \cdot \sin \alpha_1,$$

wobei bei der Refraktion von Wasserwellen c die Fortschrittsgeschwindigkeit der Welle als Funktion der Wassertiefe darstellt.

Ausgehend von einem Tiefenlinienplan wird eine Stufe jeweils sinnvoll mittig zwischen zwei Tiefenlinien angeordnet. Für diese Stufen wird jeweils der Einfallswinkel und Ausfallswinkel berechnet (siehe Tabelle 1). Ausgehend von der Wellenrichtung im Tiefwasser werden fortlaufend die Winkeländerungen der Orthogonalen von Tiefenstufe zu Tiefenstufe gezeichnet (siehe Abb. 3).

Im vorliegenden Fall beträgt der Winkel der einlaufenden Welle zur Küstenlinie rd. 40°.

Tabelle 1: Ermittlung der Einfallswinkel- und Ausfallswinkel einer Welle

Wassertiefe d [m]	Wellenlänge L [m]	Einfallswinkel α_1 [°]	Ausfallswinkel α_2 [°]
10,00	38,97	41,00	38,50
8,00	36,98	38,50	34,85
6,00	33,94	34,85	29,58
4,00	29,32	29,58	26,06
3,00	26,09	26,06	21,62
2,00	21,88	21,62	15,50
1,00	15,88	15,50	

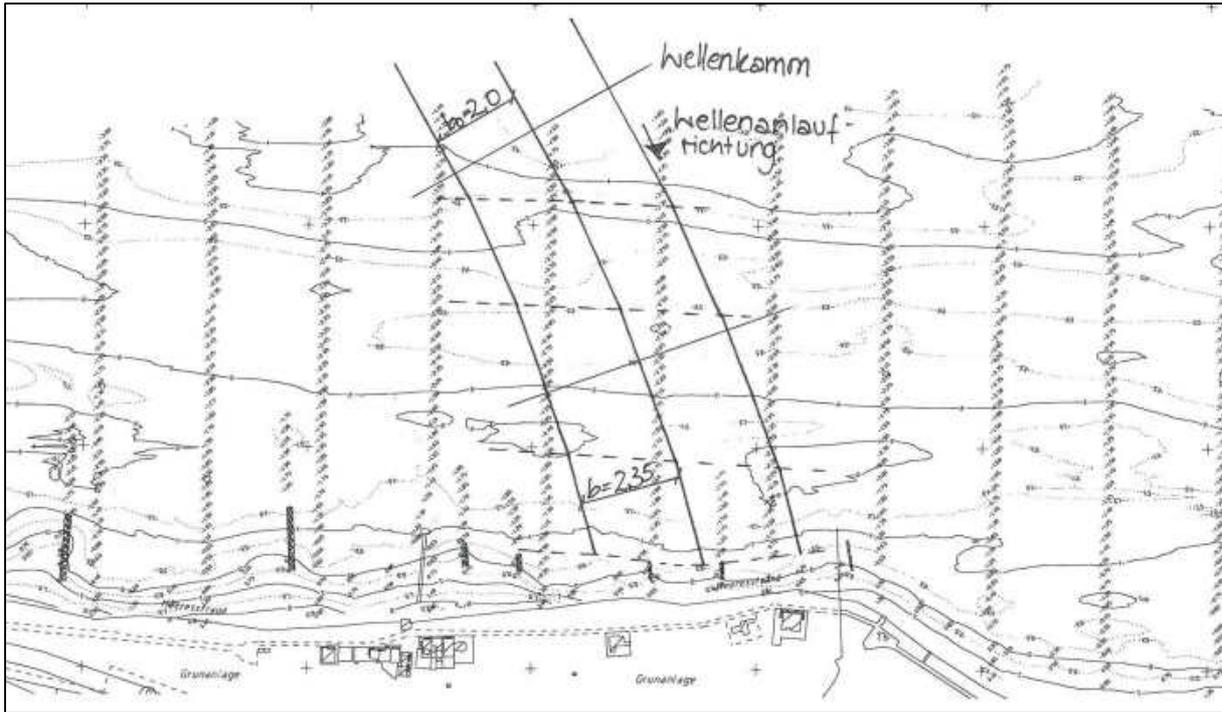


Abbildung 3: Zeichnerische Ermittlung des Refraktionskoeffizienten am Hauptbadestrand Steinwarder West

Es ergibt sich aus der Zeichnung für den Küstenabschnitt Steinwarder West:

$$K_R = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{2,00}{2,35}} = 0,92$$

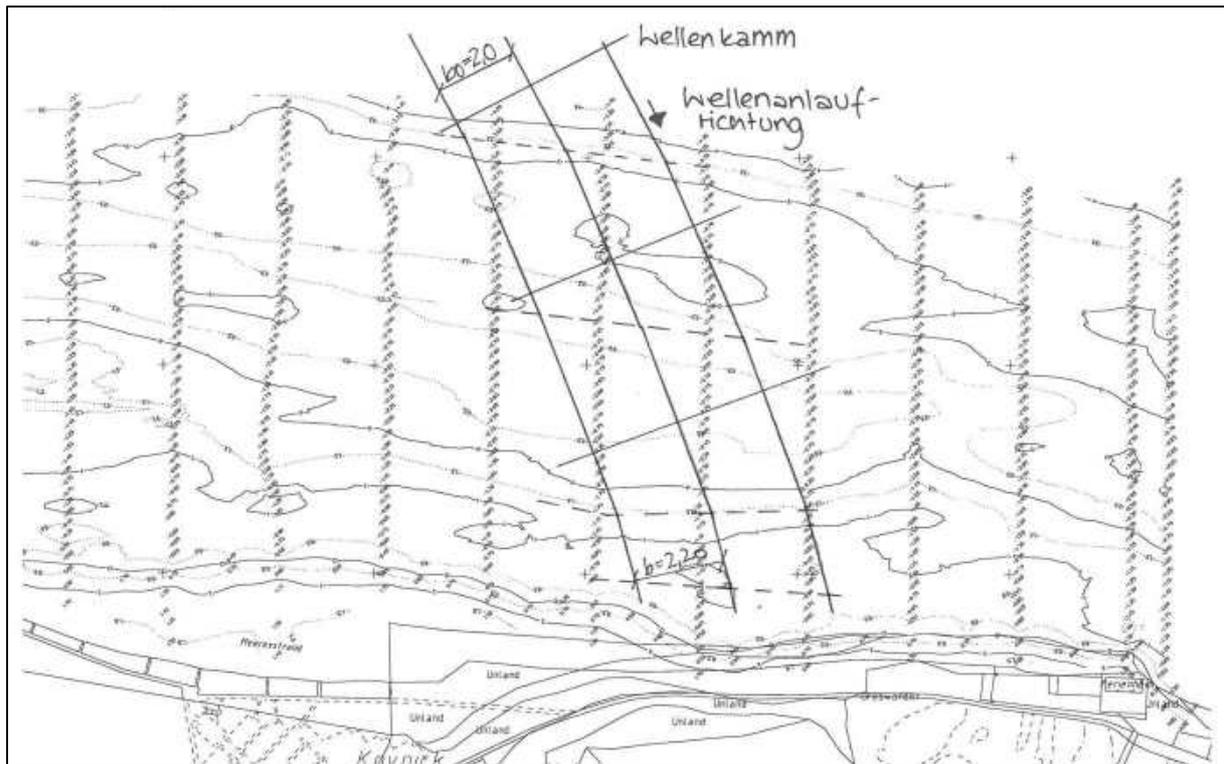


Abbildung 4: Zeichnerische Ermittlung des Refraktionskoeffizienten am Übergang Steinwarder/Graswarder

Es ergibt sich aus der Zeichnung für den Küstenabschnitt Steinwarder Ost:

$$K_R = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{2,00}{2,20}} = 0,95$$

Daraus ergeben sich für Heiligenhafen folgende Wellenhöhen:

Hauptbadestrand Steinwarder West	Übergang Steinwarder/Graswarder
<u>Wassertiefe d = 4,0 m</u> $H_s = 2,01 \text{ m} \cdot 0,92 = 1,85 \text{ m}$	<u>Wassertiefe d = 4,0 m</u> $H_s = 2,01 \text{ m} \cdot 0,95 = 1,91 \text{ m}$
<u>Wassertiefe d = 3,0 m</u> $H_s = 1,84 \text{ m} \cdot 0,92 = 1,70 \text{ m}$	<u>Wassertiefe d = 3,0 m</u> $H_s = 1,84 \text{ m} \cdot 0,95 = 1,75 \text{ m}$
<u>Wassertiefe d = 2,0 m</u> $H_s = 1,44 \text{ m} \cdot 0,92 = 1,33 \text{ m}$	<u>Wassertiefe d = 2,0 m</u> $H_s = 1,44 \text{ m} \cdot 0,95 = 1,37 \text{ m}$
<u>Wassertiefe d = 1,0 m</u> $H_s = 0,85 \text{ m} \cdot 0,92 = 0,78 \text{ m}$	<u>Wassertiefe d = 1,0 m</u> $H_s = 0,85 \text{ m} \cdot 0,95 = 0,81 \text{ m}$

2.4 Sturmflutwasserstand

An der Außenküste Heiligenhafens entspricht der Wasserstand eines 200-jährigen Hochwassers einem Höhengniveau von NHN + 2,30 m.

2.5 Küstennaher Sedimenttransport im Planungsgebiet

Der Steinwarder und der Graswarder sind der Stadt Heiligenhafen vorgelagerte Nehrungshaken, die durch die Akkumulation von Sediment entstanden sind. Der Sedimenteintrag in dieses Gebiet erfolgt aus westlicher Richtung. An der nördlichen Spitze des Steinwarders ändert sich der Küstenverlauf von West/Ost auf Nordwest/Südost. In diesem Übergang ist in der Vergangenheit eine große Buhne zur Sicherung der nördlichen Spitze des Steinwarders gebaut worden. Der Bau der Buhne hatte große Auswirkungen auf den leeseitig liegenden Steinwarder. Zum Einen reduziert sich durch die Akkumulation luvseitig der Buhne die Sedimentationskonzentration in der Wassersäule, so dass entlang des Steinwarders weniger Sedimentation stattfinden kann. Zum Anderen wird die Strömung durch die Buhne Richtung Osten abgelenkt, so dass diese erst sehr viel weiter südöstlich auf den Steinwarder trifft als ursprünglich. Seit dem Bau der großen Buhne hat sich die Sedimentbilanz des Steinwarders verschlechtert, es erodiert mehr Sediment als akkumuliert. Das erodierte Sediment sedimentiert weiter östlich am Ende des Graswarders.

Grundsätzlich wird Sediment auf zwei Arten im Wasser bewegt. Der Großteil des Sediments wird in Suspension transportiert. Dafür muss das Sediment durch ausreichend starken Seegang mobilisiert werden. Der Prozess der Sedimentmobilisierung findet in der Brandungszone statt. Durch brechende Wellen wird das Sediment gelöst und mit dem Wasser bodennah in größere Wassertiefen transportiert. Dort wird das Sediment dann von der küstenparallelen Strömung erfasst. Bei schwachem Seegang geht die Sedimentkonzentration in der Wassersäule fast gegen Null. Die zweite Transportart ist der sohlnahe Transport, bei dem die Sedimente auf der Sohle oder dicht darüber mit rollender oder springender Bewegung transportiert werden.



Abbildung 5: Luftbild von Steinwarder und Graswarder [Bildquelle: GOOGLE EARTH]

2.6 Wirkungsweise von Buhnen

Buhnen sind seewärts gerichtete Querbauwerke, die die Geschwindigkeit der küstennahen, uferparallelen Strömung reduzieren. In Folge dessen sedimentiert das in der Wassersäule gelöste Sediment und die Wassertiefe im Buhnenfeld verringert sich. In gleichem Maße wie sich Sedimente ablagern, verringert sich der Materialtransport zur Leeseite. Ist die sandfangende Wirkung einer Buhne zu stark, entsteht auf der Leeseite durch die verringerte natürliche Zufuhr ein Abtrag und die Uferlinie weicht im Wirkungsbereich der Buhne zurück (Abbildung 6).

Die Akkumulationswirkung eines Buhnensystems setzt entsprechende Sedimentverfügbarkeit in der küstennahen Strömung voraus. Eine Problematik beim Bau von Buhnen liegt in möglichen Unsicherheiten bei der vorausschauenden Beurteilung ihrer Wirkung. Konstruktiv dagegen können Buhnen so bemessen werden, dass sie den Beanspruchungen durch Brandung, Strömungen usw. widerstehen.

Die Funktion von Einzelbuhnen oder Buhnengruppen wird vor allem durch den Buhnenrundriss, die Anordnung in Buhnengruppen, die gewählten Buhnenabstände, die Buhnenlänge, die Buhnenhöhe sowie Buhnenquer- und –längsschnitt bestimmt. In einer Buhnengruppe ist der Buhnenabstand so festzulegen, dass die luvseitige Buhne dort angeordnet wird, wo die abschirmende Wirkung der leeseitigen Buhne nicht mehr ausreicht, um Erosion durch Strömung und Brandung ausreichend zu verhindern. Dabei ist ein Sicherheitszuschlag anzusetzen, um im ungünstigsten Fall ein ausreichendes Sandpolster zu erhalten. Bei zu geringen Buhnenabständen kann der Sedimenttransport den Strand im Uferbereich nicht ausreichend versorgen.

Buhnen wirken als Strömungswiderstand. Landwärts der Streichlinie eines Buhnenfeldes reduziert sich die Strömungsgeschwindigkeit, so dass weniger Sediment transportiert und mobilisiert werden kann. Unter den geschaffenen Bedingungen akkumuliert Sediment aus der Wassersäule und die Wassertiefe im Buhnenfeld nimmt ab. Durch die Erhöhung des Strandprofils brechen Wellen in größerer Entfernung zur Uferlinie. Gerade im Fall einer Sturmflut kann dadurch die ausräumende Wirkung von brechenden Wellen auf den Strand und Dünen reduziert werden.

Wenn in Folge fehlender oder zu geringer natürlicher Sandzufuhr die Buhnen keine ausreichende Wirkung erwarten lassen, kann es von Nutzen sein, den Bau von Buhnen mit einer Strandauffüllung zu verbinden.

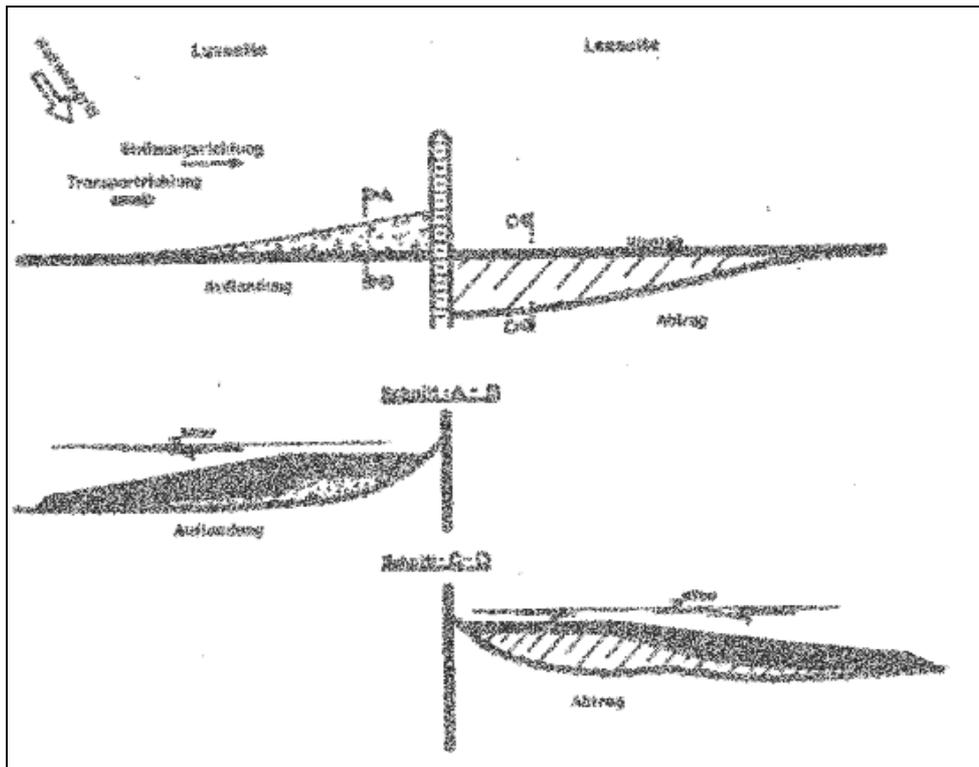


Abbildung 6: Sandfangwirkung auf der Luvseite und Erosionswirkung auf der Leeseite einer Strandbuhne (EAK 1993, 2002)

3 BESTAND

3.1 Allgemeines

Das Planungsgebiet erstreckt sich entlang der Außenküste des Steinwarders auf einer Länge von rd. 2,70 km. Die Außenküste stellt sich als ein Sandstrand mit landseitig höher liegenden Dünen dar. Der Strand ist geprägt durch sandiges Material, neben dem vor allem im Bereich der Schorre Steine zu finden sind. Der Baugrund besteht aus marinen Sanden mit darunterliegendem Geschiebemergel [EAK 2002].

Die Küstenlinie des Steinwarders wird durch zwei Buhnenfelder geschützt. Diese liegen im Westen des Nehrungshakens. Seit 2012 befindet sich bei Station 1+900 die Seebrücke Heiligenhafen. Sie ist rd. 440 m lang und reicht bis in eine Wassertiefe von NHN - 2,50 m.

3.2 Buhnenfeld 1

Das Buhnenfeld 1 erstreckt sich von Station 0+190 bis 0+910. Die Buhnen sind als Schüttsteinbuhnen ausgeführt. Der sichtbare Teil der Buhnen ist im Mittel rd. 60 m lang. Der Abstand zwischen den einzelnen Buhnen beträgt zwischen 150 und 210 m. Das Verhältnis zwischen Buhnenlänge und Abstand kann bedingt durch die Einbindung der Buhne in den Strand nur abgeschätzt werden, da die Länge des nicht sichtbaren Teils der Buhne

unbekannt ist. Das Verhältnis liegt vermutlich zwischen 1:3 und 1:2. Die Buhnen reichen bis in Wassertiefen von maximal NHN - 1,50 m.



Abbildung 7: Buhnenfeld 1 Steinwarder West [Bildquelle: GOOGLE EARTH]

In Abbildung 7 ist deutlich zu erkennen, dass sich auf der Westseite der Buhnen Sand angelagert hat und auf der Ostseite erodiert wird. Zwischen den Buhnen verläuft die Küstenlinie sichelförmig. Durch die von Westen nach Osten gerichtete Strömung wird auch weiterhin Sediment in Richtung Graswarder transportiert, durch die Buhnen wird die Verweilzeit des Sediments am Steinwarder jedoch deutlich erhöht. Das Luftbild belegt, dass das Buhnenfeld bezüglich Buhnenlänge und -abstand zweckmäßig dimensioniert ist und eine Stabilisierung der Küstenlinie bewirkt. Es wird daher empfohlen, das Buhnenfeld 1 weiterhin zu erhalten.

3.3 Buhnenfeld 2

Das Buhnenfeld 2 erstreckt sich von Station 1+050 bis 1+410. Die Buhnen sind ebenfalls als Schüttsteinbuhnen ausgeführt. Der sichtbare Teil der Buhnen ist zwischen 15 m und 30 m lang. Der Abstand zwischen den einzelnen Buhnen beträgt zwischen 60 und 120 m, so dass der Abstand der Buhnen im Mittel um den Faktor 4 größer als die Länge ist. Die Buhnen reichen bis Wassertiefen von maximal NHN - 0,80 m.



Abbildung 8: Buhnenfeld 2 Steinwarder West [Bildquelle: GOOGLE EARTH]

In Abbildung 8 ist das zweite Buhnenfeld dargestellt. Es sind geringe Sandablagerungen auf den westlichen Seiten sowie Erosion auf den östlichen Seiten der Buhnen zu erkennen. Die Wirkung der Buhnen ist geringer ausgeprägt als im ersten Buhnenfeld, was zum Einen durch ihre geringe Länge und zum Anderen durch ihren großen Abstand bedingt ist. Der Küstenverlauf in Abbildung 8 belegt, dass das Buhnenfeld 2 nur im geringen Maße die Anlandung von Sediment ermöglicht. Da an diesem Strandabschnitt Erosion stattfindet und zurzeit die Durchgängigkeit des Strandes gefährdet ist, besteht in diesem Bereich aus Sicht des Küstenschutzes Handlungsbedarf. Es wird empfohlen, das Buhnenfeld 2 zu erneuern.

3.4 Ostseestrand

Der Strand ist abschnittsweise vollständig bis zum Dünenfuß abgetragen (z. B. Station 1+330), in anderen Bereichen weist er eine Breite von bis zu 120 m auf (z. B. im Bereich der Seebrücke). In stark erodierten Abschnitten sind bereits Abbruchkanten am Dünenfuß zu erkennen. Diese sind provisorisch mit Schüttsteinen gesichert. Ein besonders auffälliger Erosionsbereich ist am Übergang zwischen Steinwarder und Graswarder zu erkennen. Dort besteht die Gefahr, dass die Düne in naher Zukunft im Hochwasserfall bricht und die Ostsee ungehindert in die Heiligenhafener Marina strömt und auch die Seegangsbelastung im Hafengebiete signifikant zunimmt. Auch entlang des Graswarders kommt es ostseeseitig zu Erosion. Das abgetragene Sediment landet am östlichen Ende des Graswarders an, so dass der Nehrungshaken immer weiter in Richtung Osten wächst. Das maximale Strandniveau liegt zwischen NHN + 0,80 m und + 2,0 m. Die Strandneigung beträgt zwischen 1:10 und 1:15.

4 BESCHREIBUNG DER MASSNAHME

4.1 Testbuhnenfeld

4.1.1 Bemessung der Buhnen

Buhnenlänge

Es sind die Gesamtbuhnenlänge und die wirksame Buhnenlänge zu unterscheiden. Die Gesamtbuhnenlänge entspricht dem Abstand zwischen Buhnenkopf und -wurzel. Die wirksame Länge hingegen beginnt erst einige Meter landseitig der Wasser-Land-Grenze und reicht bis zum Buhnenkopf. Auf dieser Länge unterbricht das Bauwerk den Sedimenttransport. Die wirksame Buhnenlänge ergibt sich aus dem Buhnenabstand und dem gewählten Verhältnis a/L .

Eine Möglichkeit zur Bestimmung der Buhnenlänge ist in der EAK 1993 dargestellt. Die wirksame Buhnenlänge ergibt sich in Abhängigkeit von der Schorreineigung (von der Uferlinie zur Tiefenlinie NN - 4,0 m) sowie von der maßgebenden Wellenlänge (bei Bft 7) (Abbildung 9).

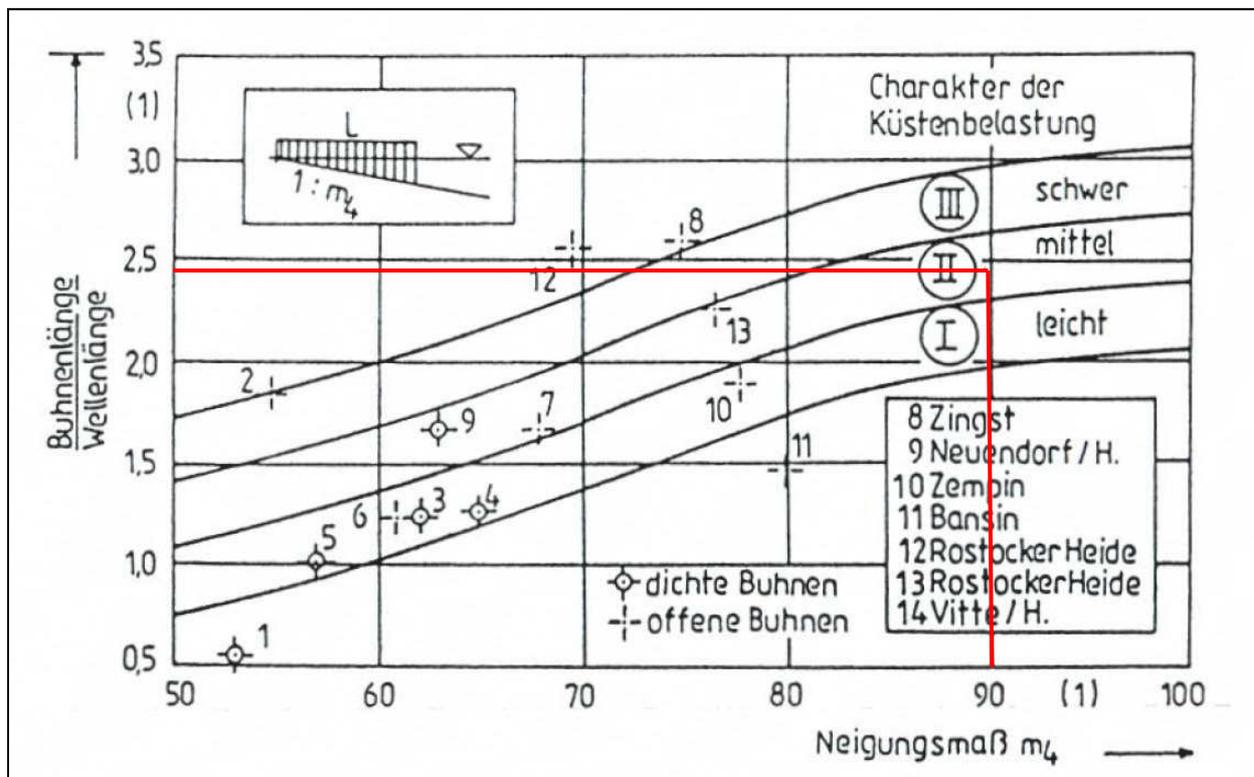


Abbildung 9: Verhältnis zwischen Buhnenlänge, Wellenlänge und Schorreineigung [EAK 1993]

So ergibt sich beispielsweise für ein Neigungsmaß von 90 und eine Wellenlänge von 42,0 m bei einem mittleren Belastungsgrad eine wirksame Buhnenlänge von $(2,45 \times 42,0 \text{ m})$ rd. 100 m.

Buhnenabstand

Für gerade, gleich lange undurchlässige **Strombuhnen** können die Buhnenabstände (a) im Verhältnis zur Buhnenlänge (L) nach dem SHORE PROTECTION MANUAL mit $a = 2$ bis $3 L$ gewählt werden.

An der deutschen Nordseeküste (**Strandbuhnen**) ist wegen der tidebedingt wechselnden Strömungsrichtungen das Verhältnis zwischen der Buhnenlänge und dem Buhnenabstand in der Regel kleiner; hier sind Verhältnisse $a/L = \text{rd. } 1$ (Westerland/Sylt) und teilweise auch deutlich darunter (Baltrum $a/L \approx 0,5$) anzutreffen. An der Ostseeküste ist das Verhältnis zwischen der Buhnenlänge und ihrem Abstand meist größer. Hier liegen die Verhältnisse bei $a/L = \text{rd. } 2$ (Hohwacht, Strande). Für strandnormale, gleich lange Strandbuhnen kann nach Erfahrungen an der deutschen Nordseeküste gemäß EAK 1993 folgende Formel zur Ermittlung des Buhnenabstands herangezogen werden:

$$\text{Buhnenabstand } a_{\max} = 2e \cdot \text{ctg} \beta \quad (1)$$

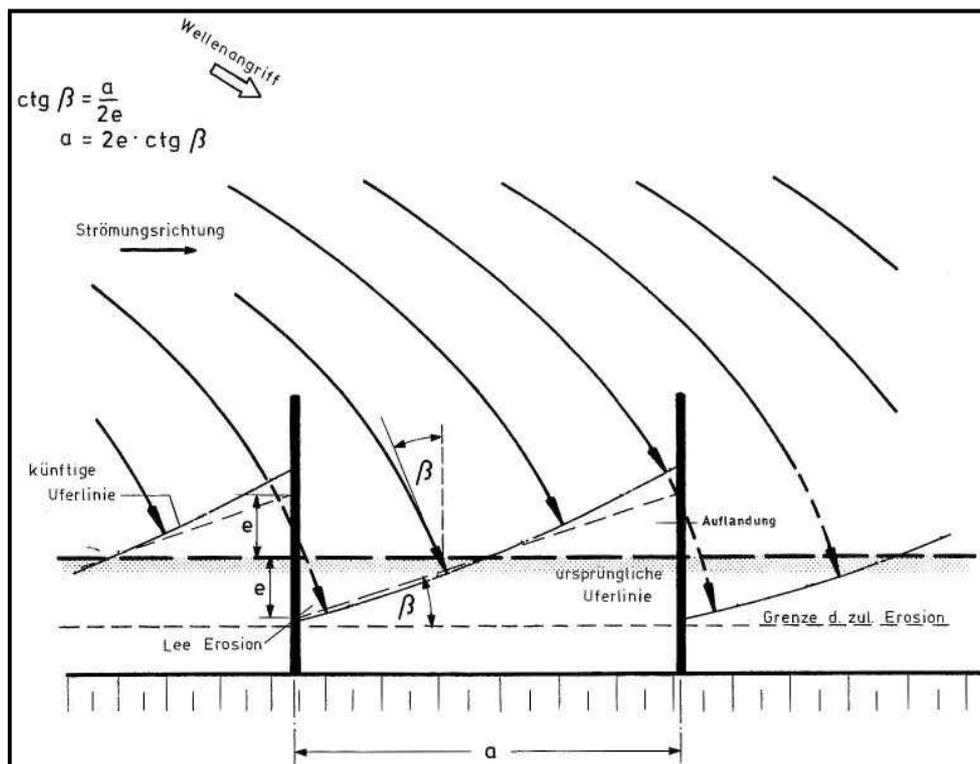


Abbildung 10: Skizze zur Ermittlung von Buhnenlänge und Buhnenabstand [EAK 1993, 2002]

Bei der Ermittlung des Buhnenabstandes gemäß dieser Gleichung wird der Abstand in Beziehung zu dem Wellenanlaufwinkel sowie der zu erwartenden Breite der Auflandung gestellt. In der EAK 1993 wird ein weiterer Ansatz zur Bestimmung des Buhnenabstandes vorgestellt. Dabei hängt der Buhnenabstand neben der wirksamen Buhnenlänge auch von der Durchlässigkeit der Buhne sowie dem Grad der Küstenbelastung ab (Abbildung 11).

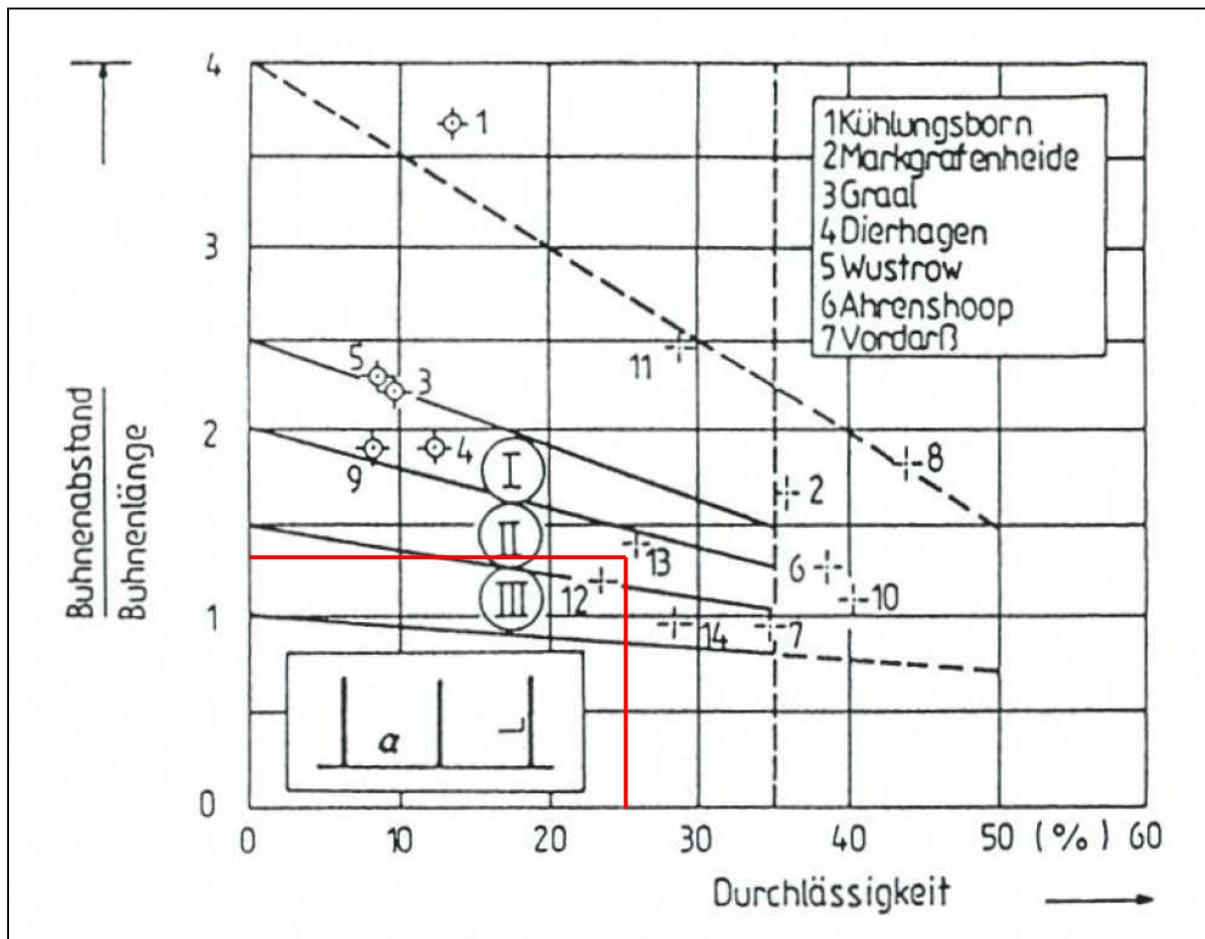


Abbildung 11: Verhältnis zwischen Bühnenabstand, Bühnenlänge und Durchlässigkeit der Buhne [EAK 1993]

So ergibt sich beispielsweise für eine mittlere Durchlässigkeit von 25% und einer Bühnenlänge von 100,0 m bei einem mittleren Belastungsgrad ein Bühnenabstand von $(1,4 \times 100,0 \text{ m})$ rd. 140 m.

Durchlässigkeit

Grundsätzlich unterscheidet man dichte und durchlässige Buhnen. Eine Buhne gilt als durchlässig, wenn die Durchlässigkeit größer als 20 % ist [TRAMPENAU & OUMERACI, 2001]. Dichte Buhnen bremsen die uferparallele Strömung deutlich stärker als durchlässige Buhnen, so dass sich komplexe Strömungswalzen ausbilden. Laut den Ergebnissen aus Modell- und Naturversuchen von TRAMPENAU & OUMERACI (2001) liegt der optimale Durchlässigkeitsgrad zwischen 20 und 30 %. Es wird empfohlen, die erste Buhne eines Bühnenfeldes durchlässiger als die folgenden Buhnen zu gestalten. So wird eine fließende Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit erreicht und eine Wirbelbildung am Bühnenkopf vermieden.

Die Testbuhnen werden als gestaffelt durchlässige Querwerke geplant (Abbildung 12). Im Landbereich werden die Pfähle dicht an dicht in den Untergrund gebracht, so wird bei

höheren Wasserständen ein Umspülen der Bühnenwurzel verhindert und die damit verbundene Gefahr der Kolkbildung reduziert. Von der Uferlinie zum Bühnenkopf nimmt der Pfahlabstand sukzessiv zu. Im Übergang vom Landbereich in den Wasserbereich wird der Pfahlabstand zu Beginn auf rd. 5 cm erhöht (Durchlässigkeit $P = 17\%$). Im Anschluss wird der Pfahlabstand erst auf 7 cm ($P = 22\%$) und dann auf 9 cm ($P = 26\%$) vergrößert. Auf der restlichen Bühnenlänge beträgt der Pfahlabstand 11 cm ($P = 30\%$). Die Staffelung der Durchlässigkeit verteilt sich gleichmäßig über die wirksame Länge der Buhne.

Durch den gestaffelten Durchlässigkeitsgrad der Bühnen wird die Strömung nur soweit abgebremst, dass kein ungünstiges Strömungsbild entsteht. Zudem wird die Rippströmung auf der Leeseite der Buhne und damit auch die Leerosion reduziert.

Bühnenhöhe

Zur Bemessung der Bühnenhöhe sind die folgenden Überlegungen zu berücksichtigen. Damit eine Buhne eine sandfangende Wirkung erzielen kann, muss eine Mindesthöhe oberhalb des Strandniveaus vorhanden sein. In der Praxis hat sich für die Bühnenkrone eine Höhe von 0,50 m (Holzpfahlbuhnen) bis 0,75 m (flache Schüttsteinbuhnen) über dem Strandniveau bewährt. Die Bühnenwurzel muss desto höher gezogen werden, je weniger das Ufer befestigt ist, um ein Hinterspülen im Sturmflutfall zu vermeiden. Der seeseitige Bühnenkopf sollte dabei oberhalb des Normalwasserstandes liegen.

Gewählt wird eine Bühnenhöhe, bei der die Bühnenwurzel rd. 0,50 m oberhalb des ursprünglichen Strandniveaus liegt, die Kronenhöhe kontinuierlich mit dem Strandniveau abnimmt und der Bühnenkopf noch eine Höhe von rd. $NHN + 0,50$ m aufweist.

Bauweise

Buhnen können als Holzpfahlbuhnen oder als Schüttsteinbuhnen ausgebildet werden. Der Vorteil einer Schüttsteinbuhne gegenüber einer Holzpfahlbuhne ist, dass die Schüttsteinbuhne deutlich langlebiger ist. Zudem liegt die Schüttsteinbuhne auf der Geländeoberfläche und muss nicht in den Boden eingebracht werden. Auf der anderen Seite sind Steinbuhnen deutlich kostenintensiver als Holzbuhnen und bewirken durch die größere überbaute Fläche einen stärkeren Eingriff in Natur und Landschaft. Schüttsteinbuhnen sind grundsätzlich weniger variabel in der Herstellung der Durchlässigkeit als Holzbuhnen.

Die Bühnen am Steinwarder werden als einreihige Holzbuhnen geplant. Im Strandbereich werden Pfähle aus Lärche und im Wasser Pfähle aus Eukalyptus Cloeziana eingesetzt. Letztere sind widerstandsfähiger gegenüber Wasserstandsschwankungen und Schädlingen wie *teredo navalis* (Schiffsbohrmuschel).



Abbildung 12: Zunahme der Abstände der Holzpfähle zum Bühnenkopf [Fa. Reuse]

4.1.2 Testbuhnenfeld 1

Das Testbuhnenfeld 1 ist im Bereich des bestehenden Buhnenfeldes 2 von Station 1+060 bis 1+430 geplant. Das Testbuhnenfeld kann als Erweiterung des Buhnenfeldes 1 angesehen werden und soll die Sandverweilzeit auf diesem Abschnitt erhöhen, so dass der Strand breiter und Attraktivität des Badestrandes gesteigert wird. Außerdem verschiebt sich durch die Anhebung der Schorre die Brecherzone seewärts, so dass die bereits angegriffene Düne im Sturmflutfall weniger belastet wird.

Die Seegangsbelastung im Bereich des ersten Testbuhnenfeldes ist in Abschnitt 2.3 erläutert. Die Schorreineigung beträgt 1:90. Die Bemessung des Buhnenfeldes erfolgt gemäß EAK 1993 wie in Abschnitt 4.1.1 beschrieben und ist den Unterlagen beigelegt.

Das Testbuhnenfeld beginnt 150 m östlich des bestehenden Buhnenfeldes. Bei Station 1+025 befindet sich ein etwa 70 m langer Steg. Der Abstand zwischen Steg und der ersten Buhne des Testfeldes beträgt mindestens 30 m, so dass die Nutzung des Stegs durch das geplante Buhnenfeld nicht beeinträchtigt wird.

Es werden ein Buhnenabstand von 120 m und eine wirksame Buhnenlänge von rd. 90 m gewählt. Die Buhnen binden weitere 20 bis 30 m in den Strand ein, damit die Buhnenwurzel im Sturmflutfall nicht freigespült wird. Die Gesamtbuhnenlänge liegt damit zwischen 110 und 120 m. Die geplanten Buhnen reichen rd. 30 m weiter in den Wasserkörper als die bestehenden Buhnen. Für einen fließenden Übergang der Streichlinie von Buhnenfeld 1 zum Testbuhnenfeld 1 ist die erste Buhne des Testfeldes rd. 95 m lang. Um die Strömung wieder näher an die Küstenlinie zu führen, wird die vierte Buhne des Testfeldes rd. 25 m kürzer geplant. Die Buhnen enden wie die bestehenden Buhnen im Buhnenfeld 1 in Wassertiefen von rd. NHN - 1,50 m. Das Verhältnis Buhnenlänge zu -abstand beträgt rd. 1:1,4. Das Testbuhnenfeld 1 besteht aus 4 Buhnen und ist im Lageplan auf Blatt Nr. 2.1 eingezeichnet. Die vorhandenen Schüttsteinbuhnen werden im Zuge der geplanten Maßnahme zurückgebaut.

Grundsätzlich sind die Buhnen als einreihige Holzpfahlbuhnen geplant. Im Bereich des Testbuhnenfeldes ist der Dünenfuß mit Schüttsteinen gesichert, so dass das Einbringen der Holzpfähle nur mit großem Aufwand möglich wäre. Daher werden die Holzpfahlbuhnen erst am wasserseitigen Ende der Dünenfußsicherung beginnen. Um eine Hinterspülung der Buhnen bei höheren Wasserständen zu verhindern, wird die Buhnenwurzel im Bereich der Dünenfußsicherung als Schüttsteinbuhnen geplant. Die Steinschüttung wird auf die vorhandene Dünenfußsicherung aufgebracht und geht an der Buhnenwurzel fließend in sie über. Gegebenenfalls können die aus dem Rückbau der vorhandenen Schüttsteinbuhnen

anfallenden Steine weiterverwendet werden. Ein Querschnitt der Buhne ist auf Blatt Nr. 4.1 der Planunterlagen dargestellt.

Die Buhnen werden mit einer mittleren Durchlässigkeit von rd. 25 % geplant. Der Pfahlabstand wird von der Buhnenwurzel zum Buhnenkopf wie in Abschnitt 4.1.1 beschrieben sukzessiv vergrößert.

Da der Strand im Bereich des Testbuhnenfeldes besonders erodiert ist, ist als Ergänzung zu den Buhnen eine Sandaufspülung vorgesehen. Dadurch wird der Prozess der Strandverbreiterung beschleunigt, so dass die Nutzbarkeit des Strandabschnittes zeitnah wiederhergestellt ist.

4.1.3 Testbuhnenfeld 2

Das Testbuhnenfeld 2 ist zwischen den Stationen 2+130 und 2+560 am Übergang vom Stein- zum Graswarder geplant. Die Buhnen werden an dieser Stelle die Sandverweilzeit verlängern und durch die Anhebung der Schorre die Gefahr eines Durchbruchs im Hochwasserfall verringern. Das Testbuhnenfeld 2 wird nicht in Kombination mit einer Sandaufspülung geplant. So kann unabhängig von künstlichem Sandeintrag die natürliche Fangwirkung der Buhne beurteilt werden.

Die Bemessung des Buhnenfeldes erfolgt gemäß EAK 1993 wie in Abschnitt 4.1.1 beschrieben und ist den Unterlagen beigelegt. Die Seegangsbelastung auf diesen Strandabschnitt ist vergleichbar mit der Belastung auf den Bereich Testbuhnenfeld 1 (vgl. Abschnitt 2.3). Die Schorreneigung ist im Bereich des Testbuhnenfeldes 2 mit 1:110 flacher als im Bereich des ersten Feldes.

Die Buhnen werden wie die des ersten Testbuhnenfeldes bis in Wassertiefen von NN - 1,50 m reichen. Bedingt durch die vergleichsweise flache Schorre ergibt sich eine wirksame Buhnenlänge von bis zu 140 m. Die Gesamtlängen der Buhnen betragen zwischen 120 m und 170 m. Der Abstand der Buhnen zueinander beträgt 175 m.

Die Buhnen werden bis an den Dünenfuß in den Strand einbinden. So wird ein mögliches Hinterspülen bei höheren Wasserständen verhindert. Im Bereich des Ferienheims wird die Buhne bis an das vorhandene Betonfundament reichen.

Direkt luvseitig des Testbuhnenfeldes liegt kein Buhnensystem. Für eine allmähliche Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit beginnt das Buhnenfeld daher mit einer relativ durchlässigen Buhne ($P = 30$ bis 35%). Die leeseitig liegenden Buhnen werden mit den in Abschnitt 4.1.1 beschriebenen Pfahlabständen ausgeführt. Da der Küstenverlauf am östlichen Ende des Buhnenfeldes abknickt, wird die letzte Buhne mit einer Länge von rd.

120 m geplant. So wird die Strömung näher an die Uferlinie geführt und mögliche Erosionen leeseitig des Bühnenfeldes reduziert.

4.2 Sandaufspülungen

4.2.1 Allgemeines

Durch die Sandaufspülung wird der Strand der Steinwarder Außenküste erhöht und verbreitert. Ein Ziel der Aufspülung ist die Reduzierung der Seegangsbelastung auf die Dünen und die Hochwasserschutzanlagen durch den höher liegenden Strand und Vorstrandbereich. Durch das Sandpolster wird auch im Sturmflutfall noch eine deutliche Reduzierung der anlaufenden Wellenhöhe erreicht. Daneben wird durch die Strandverbreiterung die Nutzungskapazität des Strandes durch Strandgäste, Strandkorbbetreiber u.a. gesteigert.

Die Aufspülbereiche liegen im Westen des Steinwarders. Da der Sedimenttransport am Steinwarder vorwiegend von Westen nach Osten gerichtet ist, wird aus den Spülkörpern gelöstes Sediment in Richtung Osten transportiert und akkumuliert am östlichen Steinwarder und letztendlich am Graswarder. So kommen die Sandaufspülungen im Westen mit der Zeit auch dem östlichen Steinwarder und dem Graswarder zu Gute.

Grundsätzlich beginnen die Sandaufspülungen am seeseitigen Dünenfuß und erstrecken sich bis in den Wasserkörper hinein. Das seeseitige Ende der Aufspülung ergibt sich aus der Geometrie der Aufspülung sowie der vorhandenen Geländegeometrie. Die Aufspülbereiche sind im Lageplan auf Blatt Nr. 2.1 dargestellt.

4.2.2 Sandaufspülbereich 1

Der Sandaufspülbereich 1 erstreckt sich von Station 0+120 bis 0+880 entlang des ersten Bühnenfeldes. Eine Geometrie der Aufspülung ist in Blatt Nr. 3.1 dargestellt. Landseitig verläuft ein 10 m breiter Streifen auf einem Höhenniveau von mindestens NHN + 2,00 m. Auf dieser Höhe ist ein trockenes Begehen des Strandes selbst bei höheren Wasserständen und/oder stärkerem Seegang möglich. Zur Seeseite nimmt die Höhe der Aufspülung mit einer Neigung von 1:15 bis zum natürlich anstehenden Seegrund ab. Durch dieses geringe Gefälle soll erreicht werden, dass sich ein weitgehend natürliches Strandprofil ohne Abbruchkanten ausbildet.

Der Strand wird trotz der Aufspülung weiterhin erodieren. Der Sand, der an dieser Stelle erodiert, geht der Außenküste des Steinwarders vorerst nicht verloren. Der Sandtransport wird durch die Bühnen ständig unterbrochen, so dass der Sand sehr viel langsamer in Richtung Graswarder transportiert wird. Das bedeutet, dass die im Sandaufspülbereich 1

aufgebrachte Sandmenge, wenn sie abgetragen wird, das ganze Bühnenfeld und die östlich gelegenen Strandabschnitte mit Sand versorgen wird.

Im Sandaufspülbereich 1 werden rd. 28.000 m³ Sand eingebaut. Dabei werden durch die Aufspülung etwa 22.000 m² Strand und 15.000 m² Wasserfläche überbaut.

4.2.3 Sandaufspülbereich 2

Der zweite Sandaufspülbereich erstreckt sich von Station 1+034 bis 1+545 entlang des ersten Testbühnenfeldes. Eine Geometrie der Aufspülung ist in Blatt Nr. 3.2 dargestellt. Landseitig liegt die Aufspülung auf einer Höhe von NHN + 2,0 m. Nach etwa 10 bis 15 m fällt die Aufspülung mit einer Neigung von 1:15 konstant ab. Der Strand verbreitert sich durch die Aufspülung um rd. 20 m.

Im Sandaufspülbereich 2 werden etwa 16.000 m³ Sand eingebaut. Dabei werden rd. 11.000 m² Strand und 12.000 m² Wasserfläche durch die Aufspülung überbaut.

4.2.4 Zusammenfassung Sandaufspülung

Sandaufspülbereich	Einbaumenge [m³]	Überbauung Strand [m²]	Überbauung Wasser [m²]
1	28.000	22.000	15.000
2	16.000	11.000	12.000
Gesamt	44.000	33.000	27.000

5 AUSWIRKUNG DER MASSNAHME

5.1 Auswirkung der Testbuhnenfelder

An dieser Stelle wird noch einmal darauf hingewiesen, dass die vorausschauende Beurteilung der Auswirkungen eines Buhnenfeldes auf den Küstenverlauf mit Unsicherheiten behaftet ist. Eine exakte Vorhersage der Wirkung des Buhnenfeldes kann nicht getroffen werden. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich die Küstensituation durch den Bau der Buhnen weiter verschlechtert.

Im Bereich des zweiten Testbuhnenfeldes wird zunächst keine Sandaufspülung durchgeführt. Grundsätzlich ist der Sedimenttransport an der Außenküste des Steinwarders von Westen nach Osten gerichtet, so dass davon auszugehen ist, dass das Testbuhnenfeld 2 durch den küstenparallelen Transport mit Sediment versorgt wird. Daneben erhöht das Testbuhnenfeld 2 die Verweilzeit des im Westen aufgespülten Sandes. Wird dieser mobilisiert und in der Wassersäule in Richtung Osten transportiert, kreuzt er das zweite Testbuhnenfeld und sedimentiert dort.

Um die Wirkung der Testbuhnenfelder beurteilen zu können, wird die Entwicklung der Küstenlinie im Bereich der Testbuhnenfelder durch ein Monitoring dokumentiert. Das Testbuhnenfeld 2 ist im Rahmen des Monitorings besonders aufmerksam zu beobachten, da im Falle einer unzureichenden Akkumulation von Sediment und der damit verbundenen Gefahr eines Durchbruchs der Ostsee in den Jachthafen eine Sandaufspülung erforderlich sein wird.

In den Abbildung 13 und 14 sind die möglichen Entwicklungen der Küstenlinie im Bereich der Testbuhnenfelder skizziert. Durch die Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit ist davon auszugehen, dass in den Buhnenfeldern Sediment akkumuliert, wodurch sich die Uferlinie zur Seeseite verschiebt.



Abbildung 13: Mögliche Entwicklung der Wasser-Land-Grenze im Bereich des Testbuhnenfeldes 1 [Bildquelle: GOOGLE EARTH]



Abbildung 14: Mögliche Entwicklung der Wasser-Land-Grenze im Bereich des Testbuhnenfeldes 2 [Bildquelle: GOOGLE EARTH]

5.2 Auswirkung der Sandaufspülung

Der Sand am Steinwarder Strand wird vor allem durch den Seegang mobilisiert. Je nach der Intensität des Seegangs wird das Sediment entweder in der gesamten Wassersäule oder lediglich in Sohlhöhe transportiert. Bei schräg anlaufenden Wellen, wie sie am Steinwarder hauptsächlich vorkommen, stellt sich ein küstenparalleler Sedimenttransport ein. Am Steinwarder ist die Haupttransportrichtung bedingt durch die Windverhältnisse von Westen nach Osten gerichtet.

Am Steinwarder Strand werden rd. 45.000 m³ Sand aufgespült. Direkt nach der Aufspülung ist ein verstärkter Sedimenttransport zu erwarten, weil sich durch die Änderung des Strandprofils die Brandungszone verschiebt. Durch die eingetragene Energie wird das Sediment in der Brandungszone mobilisiert und umgelagert. Nachdem sich eine natürliche Verteilung des Sediments eingestellt hat, klingt die Umlagerung ab. Im Anschluss stellt sich die gleiche Transportrate wie vor der Aufspülung ein, weil die mobilisierende Kraft, d.h. die Wellenenergie, unverändert ist. So ist, bis auf eine anfängliche Umlagerungsphase, kein erhöhter Sedimenttransport durch die Aufspülung zu erwarten.

6 BAUABLAUF UND BAUZEIT

6.1 Bauablauf

Ein möglicher Bauablauf kann wie folgt aussehen:

Zu Beginn werden die Testbuhnenfelder gebaut. Dazu ist der Rückbau des vorhandenen Buhnenfeldes 2 erforderlich. Im Anschluss werden die Holzpfähle eingebracht. Dabei ist zu beachten, dass der Untergrund von Mergelschichten und Kiesbändern durchzogen ist und es zu Schwierigkeiten beim Einbringen der Pfähle kommen kann. Um die Behinderung der Rammarbeiten durch oberflächliche Hindernisse, z. B. durch Steine, soweit wie möglich zu reduzieren, besteht die Möglichkeit, die Buhnentrassen vor Baubeginn mit einem Pflug freizumachen. Um den Holzpfahl vor Hindernissen in größeren Tiefen zu schützen, sind die Enden der Pfähle mit einer Pfahlfußverstärkung zu versehen.

In der zweiten Phase wird der Sand in den Aufspülbereichen aufgebracht. Die Sandentnahme erfolgt mit einem Hopperbagger in einem genehmigten Sandentnahmegebiet in Dänemark. Hierbei wird ein Sand-Wasser-Gemisch mit einem Schleppkopf vom Seegrund entnommen und in den Laderaum des Schiffes gespült. Das überflüssige Wasser fließt zurück und das Sediment verbleibt im Laderaum. Während des Befüllvorgangs bewegt sich das Schiff mit langsamer Fahrt durch das Entnahmegebiet. Nach dem Befüllen des

Laderaums fährt das Schiff zur Übergabestation und pumpt das Sand-Wasser-Gemisch durch eine Rohrleitung an Land.

Die Übergabestation wird nördlich des Steinwarders in der Ostsee liegen. An dieser Übergabestation pumpt der Hopperbagger das Sand-Wasser-Gemisch in eine Rohrleitung, die bis zum Steinwarder verlegt wird. In den Aufspülbereichen wird die Leitung entsprechend zum Baufortschritt verlegt, so dass die Strandprofilierung ausschließlich mit Raupenfahrzeugen erfolgen kann.

Im Aufspülbereich wird die Rohrleitung in die Spülstrecke gelegt und es wird so lange gespült, bis das Spülfeld verfüllt ist. Danach wird eine neue Rohrleitungseinheit angeschlossen und im nächsten Spülfeld aufgespült. Die Rohrleitung wird hierbei relativ weit landseitig verlegt, um die Spülverluste gering zu halten. Zusätzlich wird zur Reduzierung der Spülverluste seeseitig des Spülfelds ein Spüldamm aufgeschoben. Landseitig des Spüldamms sedimentiert der Sand, während das Spülwasser entlang des Dammes in die Ostsee fließt. Der Spüldamm ist entsprechend des Spülfortschrittes zu verlängern. Im Anschluss an den Spülvorgang wird der Damm profilgerecht auf dem Aufspülkörper verteilt. Trotz des Spüldammes kann nicht ausgeschlossen werden, dass ein geringer Anteil an Feinsediment im Spülwasser verbleibt. Während der Aufspülung ist kurzzeitig eine Trübung des Wasserkörpers zu erwarten. Die Trübung ist lokal auf den Aufspülbereich begrenzt und mit der natürlichen Trübung des Wassers bei starkem Seegang zu vergleichen.

6.2 Bauzeit

Die Bauzeit für die Testbuhnenfelder beträgt rd. 10 bis 12 Wochen.

Der Sand für die Aufspülungen wird an einer genehmigten Entnahmestelle vor der dänischen Küste (Nähe Rødby) oder südöstlich von Langeland mit einem Hopperbagger aufgenommen und etwa 22 sm bis zu einem Übergabepunkt nördlich des Steinwarder transportiert. Bei Berücksichtigung der Wassertiefen vor dem Steinwarder und der einzuspülenden Sandmenge wird ein Hopperbagger der Größe zwischen 1.500 und 2.000 m³ zum Einsatz kommen. Bei einer Einbaumenge von rd. 45.000 m³ und einem angenommenen Spülverlust von 20 % sind somit rd. 30 Schiffstouren notwendig. Bei der Entfernung von rd. 22 sm können i. M. 3 Touren/Tag gefahren werden, so dass die gesamte Spülzeit etwa 10 Tage dauert. Diese Zeiten sind um Schlechtwetterphasen, in denen das Schiff nicht fahren kann, zu verlängern. Im Vergleich dazu würde der Transport per LKW bei einem Einsatz von 10 LKW á 18 t Ladegewicht rd. 30 Tage dauern.

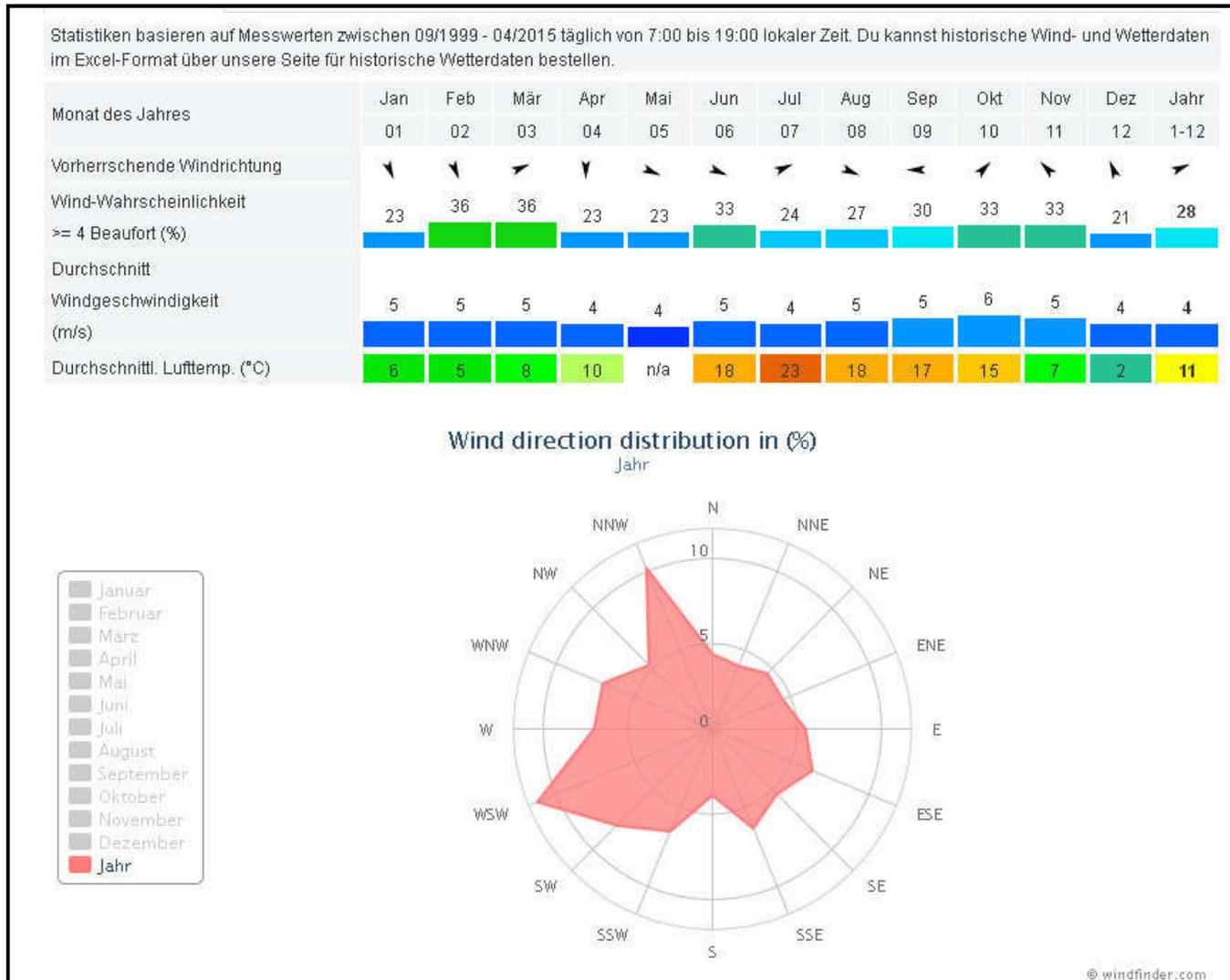
Insgesamt kann für die **gesamte Maßnahme** mit einer Bauzeit von 4 bis 5 Monaten gerechnet werden.

7 BAUKOSTEN

Gemäß beiliegender Baukostenschätzung belaufen sich die Baukosten für die Maßnahme „Testbuhnenfeld und Sandaufspülung Heiligenhafen“ auf:

1	Sandaufspülung	476.000,-€
2	Testbuhnenfeld 1 & 2	680.000,-€
	Nettobaukosten	1.156.000,-€
	Zzgl. Baunebenkosten	100.000,-€
	Nettobaukosten inkl. Baunebenkosten	1.256.000,-€
	Zzgl. MwSt.	235.000,-€
	Bruttobaukosten	1.495.000,-€

ANHANG





Stadt Heiligenhafen

Der Bürgermeister

Markt 4 - 5
23774 Heiligenhafen

Telefon: 0 43 62 / 906 6
Telefax: 0 43 62 / 6748

TESTBUHNEN UND STRANDAUFSPÜLUNGEN STEINWARDER

Entwurfsplanung

- Mengenermittlung -



INGENIEURBÜRO MOHN GmbH Beratende Ingenieure

Industriestraße 36
25813 Husum

Telefon: 04841/8361 - 0
Telefax: 04841/8361 - 22

Verzeichnis – Mengenermittlung

- 1.1 Ermittlung des Aufspülvolumens**
- 1.2 Ermittlung der Holzpfahlanzahl für den Bühnenbau**
- 1.3 Mengenermittlung Testbuhnen und Strandaufspülung Steinwarder**

1.1 Ermittlung des Aufspülvolumens

	Profil Nr.	Station	Fläche [m ²]	Abstand [m]	Volumen [m ³]
Aufspülkörper 1	3	0+180	180,00	60,51	-
	4	0+270	270,00	59,91	90,00
	5	0+363,50	363,50	59,42	93,50
	6	0+445,50	445,50	35,58	82,00
	7	0+541	541,00	63,13	95,50
	8	0+634	634,00	11,46	93,00
	9	0+734	734,00	36,32	100,00
	10	0+834	834,00	4,97	100,00
Zwischensumme					28.000,00 m³
Aufspülkörper 2	13	1+134	1.134,00	57,31	-
	14	1+234	1.234,00	55,41	100,00
	15	1+334	1.334,00	67,11	100,00
	16	1+434	1.434,00	16,29	100,00
	Zwischensumme				
<u>gesamtes Aufspülvolumen</u>					<u>44.000,00 m³</u>

1.2 Ermittlung der Holzpfahlanzahl für den Bühnenbau

Testbühnenfeld 1

Bühnen-Nr.	Holzart	Pfahllänge	Baulänge	Pfahl-Ø	Pfahlabstand	Pfahlanzahl	Steine
[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[St]	[t]
1	Schüttsteine		10				37
	Lärche	3	40	0,25	0	160	
	Eukalyptus	3	8		0,05	27	
	Eukalyptus	4	2		0,05	7	
	Eukalyptus	4	5		0,07	16	
	Eukalyptus	5	9		0,07	28	
	Eukalyptus	6	15		0,09	44	
	Eukalyptus	7	15		0,11	42	

2	Schüttsteine		10	0,25			37
	Lärche	3	10		0	40	
	Eukalyptus	3	18		0,05	60	
	Eukalyptus	4	12		0,07	38	
	Eukalyptus	5	13		0,07	41	
	Eukalyptus	5	3		0,09	9	
	Eukalyptus	6	16		0,09	47	
	Eukalyptus	7	6		0,09	18	
	Eukalyptus	7	22		0,11	61	

3	Schüttsteine		20	0,25			74
	Lärche	3	6		0	24	
	Eukalyptus	3	10		0,05	33	
	Eukalyptus	4	9		0,05	30	
	Eukalyptus	5	12		0,07	38	
	Eukalyptus	6	13		0,07	41	
	Eukalyptus	6	4		0,09	12	
	Eukalyptus	7	22		0,09	65	
	Eukalyptus	8	20		0,11	56	

4	Schüttsteine		14	0,25			51,8
	Lärche	3	14		0	56	
	Eukalyptus	3	15		0,05	50	
	Eukalyptus	3	5		0,07	16	
	Eukalyptus	4	6		0,07	19	
	Eukalyptus	5	4		0,07	13	
	Eukalyptus	5	5		0,09	15	
	Eukalyptus	6	10		0,09	29	
	Eukalyptus	6	5		0,11	14	
	Eukalyptus	7	8		0,11	22	

13,5 33,75

Testbuhnenfeld 2

Buhnen-Nr.	Holzart	Pfahllänge	Baulänge	Pfahl-Ø	Pfahlabstand	Pfahlanzahl
[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[St]

1	Lärche	3	49	0,25	0	196
	Eukalyptus	3	12		0,11	33
	Eukalyptus	4	24		0,11	67
	Eukalyptus	5	12		0,11	33
	Eukalyptus	5	17		0,13	45
	Eukalyptus	6	32		0,13	84

2	Lärche	3	32	0,25	0	128
	Eukalyptus	3	8		0,05	27
	Eukalyptus	4	27		0,05	90
	Eukalyptus	4	24		0,07	75
	Eukalyptus	5	11		0,07	34
	Eukalyptus	5	35		0,09	103
	Eukalyptus	5	8		0,11	22
	Eukalyptus	6	19		0,11	53
Eukalyptus	7	6	0,11	17		

3	Lärche	3	26	0,25	0	104
	Eukalyptus	3	18		0,05	60
	Eukalyptus	4	12		0,05	40
	Eukalyptus	4	12		0,07	38
	Eukalyptus	5	23		0,07	72
	Eukalyptus	5	11		0,09	32
	Eukalyptus	6	24		0,09	71
	Eukalyptus	6	34		0,11	94

4	Lärche	3	20	0,25	0	80
	Eukalyptus	3	4		0,05	13
	Eukalyptus	4	4		0,05	13
	Eukalyptus	5	15		0,05	50
	Eukalyptus	6	25		0,07	78
	Eukalyptus	6	25		0,09	74
	Eukalyptus	6	25		0,11	69

Bühnenfeld	Holzart	Pfahllänge	Pfahlanzahl
	[-]	[m]	[St]

1	Schüttsteine		200 t
---	--------------	--	-------

1	Lärche	3	280
	Eukalyptus	3	186
	Eukalyptus	4	109
	Eukalyptus	5	142
	Eukalyptus	6	187
	Eukalyptus	7	207
	Eukalyptus	8	56

2	Lärche	3	508
	Eukalyptus	3	133
	Eukalyptus	4	323
	Eukalyptus	5	392
	Eukalyptus	6	523
	Eukalyptus	7	17

1.3 Mengenermittlung Testbuhnen und Strandaufspülung Steinwarder

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit
1	Sandaufspülung		
1.1	Baustelleneinrichtung und -räumung		
1.1.10	Baustelleneinrichtung (nur Düker im Strandbereich)	1,00	psch
1.1.20	Baustellenräumung (nur Düker im Strandbereich)	1,00	psch
1.1.30	Bauschilder anfertigen und aufstellen	5,00	St
1.2	Spülarbeiten		
1.2.10	Sand entnehmen, transportieren, aufspülen, profilieren für Sandaufspülbereich 1 Volumen ergibt sich aus Plan	28.000,00	m ³
1.2.20	Sand entnehmen, transportieren, aufspülen, profilieren für Sandaufspülbereich 2 Volumen ergibt sich aus Plan	16.000,00	m ³
1.2.30	Mehrmassen	1,00	m ³
1.2.40	Mindermassen	1,00	m ³
1.2.50	Verlegen der Spüleinrichtung	2,00	St
2	Testbuhnen		
2.1	Baustelleneinrichtung und -räumung		
2.1.10	Baustelleneinrichtung	1,00	psch
2.1.20	Baustellenräumung	1,00	psch
1.2.30	Verkehrssicherung zu Wasser	1,00	psch
1.2.40	Verkehrssicherung zu Land	1,00	psch
1.2.50	Bauzaun auf- und abbauen	100,00	m
2.2	Herstellen der Holzbuhnen		
	Testbuhnenfeld 1		
2.2.10	Schüttsteine aufnehmen Gesamtlänge 100 m Höhe 1 m Breite 3 m mittleres Raumgewicht 1,70 t/m ³ 100*1*3*1,7= 510 t	510,00	t
2.2.20	Baugelände abräumen inkl. Pflug zur Baufeldfreimachung Abrechnung nach Anzahl der zu bearbeiteten Buhnen	4,00	St
2.2.30	Geräteinsatz für Einbringen der Pfähle	0,50	psch
2.2.35	Schüttsteine einbauen Mengenermittlung s. 1.2	200,00	t
2.2.37	Pfahlfußverstärkung	1.190,00	St
2.2.40	Holzpfaahl liefern Durchmesser 25 cm	280,00	St

	Holzart: Lärche Pfahllänge 3,0 m Mengenermittlung s. 1.2	
2.2.50	Holzpfehl liefern Durchmesser 25 cm Holzart: Eukalyptus Cloeziana mit gültigem FSC-Zertifikat Pfahllänge 3,0 m Mengenermittlung s. 1.2	190,00 St
2.2.60	Holzpfehl liefern Durchmesser 25 cm Holzart: Eukalyptus Cloeziana mit gültigem FSC-Zertifikat Pfahllänge 4,0 m Mengenermittlung s. 1.2	110,00 St
2.2.70	Holzpfehl liefern Durchmesser 25 cm Holzart: Eukalyptus Cloeziana mit gültigem FSC-Zertifikat Pfahllänge 5,0 m Mengenermittlung s. 1.2	150,00 St
2.2.80	Holzpfehl liefern Durchmesser 25 cm Holzart: Eukalyptus Cloeziana mit gültigem FSC-Zertifikat Pfahllänge 6,0 m Mengenermittlung s. 1.2	190,00 St
2.2.90	Holzpfehl liefern Durchmesser 25 cm Holzart: Eukalyptus Cloeziana mit gültigem FSC-Zertifikat Pfahllänge 7,0 m Mengenermittlung s. 1.2	210,00 St
2.2.100	Holzpfehl liefern Durchmesser 25 cm Holzart: Eukalyptus Cloeziana mit gültigem FSC-Zertifikat Pfahllänge 8,0 m Mengenermittlung s. 1.2	60,00 St
2.2.110	Holzpfehl rammen Durchmesser 25 cm Holzart: Lärche Pfahllänge: 3,0 m Pfahlabstand: dicht an dicht	280,00 St
2.2.120	Holzpfehl rammen Durchmesser 25 cm Holzart: Eukalyptus Cloeziana mit gültigem FSC-Zertifikat Pfahllänge: 3,0 m Pfahlabstand: 5 cm bzw. 7 cm	190,00 St
2.2.130	Holzpfehl rammen Durchmesser 25 cm Holzart: Eukalyptus Cloeziana mit gültigem FSC-Zertifikat Pfahllänge: 4,0 m Pfahlabstand: 5 cm bzw. 7 cm	110,00 St
2.2.140	Holzpfehl rammen Durchmesser 25 cm	150,00 St

	Holzart: Eukalyptus Cloeziana mit gültigem FSC-Zertifikat Pfahllänge: 5,0 m Pfahlabstand: 7 cm bzw. 9 cm	
2.2.150	Holzpfehl rammen Durchmesser 25 cm	190,00 St
	Holzart: Eukalyptus Cloeziana mit gültigem FSC-Zertifikat Pfahllänge: 6,0 m Pfahlabstand: 7 cm bzw. 9 cm bzw. 11 cm	
2.2.160	Holzpfehl rammen Durchmesser 25 cm	210,00 St
	Holzart: Eukalyptus Cloeziana mit gültigem FSC-Zertifikat Pfahllänge: 7,0 m Pfahlabstand: 9 cm bzw. 11 cm	
2.2.170	Holzpfehl rammen Durchmesser 25 cm	60,00 St
	Holzart: Eukalyptus Cloeziana mit gültigem FSC-Zertifikat Pfahllänge: 8,0 m Pfahlabstand: 11 cm	
2.2.180	Pfahlkopf herrichten	1.190,00 St
	Testbuhnenfeld 2	
2.2.190	Baugelände abräumen inkl. Pflug zur Baufeldfreimachung Abrechnung nach Anzahl der zu bearbeiteten Bühnen	4,00 St
2.2.200	Geräteinsatz für Einbringen der Pfähle	0,50 psch
2.2.205	Pfahlfußverstärkung	1.930,00 St
2.2.210	Holzpfehl liefern Durchmesser 25 cm Holzart: Lärche Pfahllänge 3,0 m Mengenermittlung s. 1.2	510,00 St
2.2.220	Holzpfehl liefern Durchmesser 25 cm Holzart: Tropenholz mit gültigem FSC-Zertifikat Eukalyptus Cloeziana Pfahllänge 3,0 m Mengenermittlung s. 1.2	140,00 St
2.2.230	Holzpfehl liefern Durchmesser 25 cm Holzart: Tropenholz mit gültigem FSC-Zertifikat Eukalyptus Cloeziana Pfahllänge 4,0 m Mengenermittlung s. 1.2	330,00 St
2.2.240	Holzpfehl liefern Durchmesser 25 cm Holzart: Tropenholz mit gültigem FSC-Zertifikat Eukalyptus Cloeziana Pfahllänge 5,0 m Mengenermittlung s. 1.2	400,00 St
2.2.250	Holzpfehl liefern	530,00 St

	Durchmesser 25 cm Holzart: Tropenholz mit gültigem FSC-Zertifikat Eukalyptus Cloeziana Pfahllänge 6,0 m Mengenermittlung s. 1.2	
2.2.260	Holzpfehl liefern	20,00 St
	Durchmesser 25 cm Holzart: Tropenholz mit gültigem FSC-Zertifikat Eukalyptus Cloeziana Pfahllänge 7,0 m Mengenermittlung s. 1.2	
2.2.270	Holzpfehl rammen	510,00 St
	Durchmesser 25 cm Holzart: Lärche Pfahllänge: 3,0 m Pfahlabstand: dicht an dicht	
2.2.280	Holzpfehl rammen	140,00 psch
	Durchmesser 25 cm Holzart: Eukalyptus Cloeziana Pfahllänge: 3,0 m Pfahlabstand: 5 cm bzw. 7 cm	
2.2.290	Holzpfehl rammen	330,00 St
	Durchmesser 25 cm Holzart: Eukalyptus Cloeziana Pfahllänge: 4,0 m Pfahlabstand: 5 cm bzw. 7 cm	
2.2.300	Holzpfehl rammen	400,00 St
	Durchmesser 25 cm Holzart: Eukalyptus Cloeziana Pfahllänge: 5,0 m Pfahlabstand: 7 cm bzw. 9 cm	
2.2.310	Holzpfehl rammen	530,00 St
	Durchmesser 25 cm Holzart: Eukalyptus Cloeziana Pfahllänge: 6,0 m Pfahlabstand: 7 cm bzw. 9 cm bzw. 11 cm	
2.2.320	Holzpfehl rammen	20,00 St
	Durchmesser 25 cm Holzart: Eukalyptus Cloeziana Pfahllänge: 7,0 m Pfahlabstand: 9 cm bzw. 11 cm	
2.2.330	Pfahlkopf herrichten	1.930,00 St
2.2.340	Stillliegezeit eines Rammgerätes Wasserrammung Mit Personal und Betriebsstoffen	30,00 h
2.2.350	Stillliegezeit eines Rammgerätes Wasserrammung Ohne Personal und Betriebsstoffen	5,00 d
2.2.360	Stillliegezeit eines Rammgerätes	30,00 h

	Landrammung Mit Personal und Betriebsstoffen	
2.2.370	Stillliegezeit eines Rammgerätes	5,00 d
	Landrammung Ohne Personal und Betriebsstoffen	
2.2.380	Hindernisbeseitigung	200,00 St
2.2.390	Holzpfahl ziehen 2,5% der einzubauenden Pfähle	80,00 St
2.3	Stundenlohnarbeiten	
2.3.10	Arbeitskraft Spezialbaufacharbeiter (III 1)	30,00 h
2.3.20	Arbeitskraft Baufacharbeiter (V 1)	30,00 h
2.3.30	Baugerät Bagger	60,00 h
2.3.40	LKW	100,00 h



Stadt Heiligenhafen

Der Bürgermeister

Markt 4 - 5
23774 Heiligenhafen

Telefon: 0 43 62 / 906 6
Telefax: 0 43 62 / 6748

TESTBUHNEN UND STRANDAUFSPÜLUNGEN STEINWARDER

Entwurfsplanung

- Kostenermittlung -



INGENIEURBÜRO MOHN GmbH Beratende Ingenieure

Industriestraße 36
25813 Husum

Telefon: 04841/8361 - 0
Telefax: 04841/8361 - 22

Kostenermittlung Testbuhnen und Strandaufspülungen Steinwarder

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	EP [€]	GP [€]
1	Sandaufspülung				
1.1	Baustelleneinrichtung und -räumung				
1.1.10	Baustelleneinrichtung (nur Düker im Strandbere	1,00	psch	15.000,00	15.000,00
1.1.20	Baustellenräumung (nur Düker im Strandbereich	1,00	psch	7.000,00	7.000,00
1.1.30	Bauschilder anfertigen und aufstellen	5,00	St	100,00	500,00
	Zwischensumme 1.1				22.500,00
1.2	Spülarbeiten				
1.2.10	Sand entnehmen, transportieren, aufspülen, prc	28.000,00	m ³	9,50	266.000,00
1.2.20	Sand entnehmen, transportieren, aufspülen, prc	16.000,00	m ³	9,50	152.000,00
1.2.30	Mehrmassen	1,00	m ³	9,50 n.E.P.	
1.2.40	Mindermassen	1,00	m ³	9,50 n.E.P.	
1.2.50	Verlegen der Spüleinrichtung	2,00	St	600,00	1.200,00
	Zwischensumme 1.2				419.200,00
	Unvorhergesehenes	1,00	psch	34.300,00	34.300,00
	Zwischensumme 1 Sandaufspülung				476.000,00
2	Testbuhnen				
2.1	Baustelleneinrichtung und -räumung				
2.1.10	Baustelleneinrichtung	1,00	psch	43.000,00	43.000,00
2.1.20	Baustellenräumung	1,00	psch	13.000,00	13.000,00
1.2.30	Verkehrssicherung zu Wasser	1,00	psch	600,00	600,00
1.2.40	Verkehrssicherung zu Land	1,00	psch	800,00	800,00
1.2.50	Bauzaun auf- und abbauen	100,00	m	8,00	800,00
	Zwischensumme 2.1				58.200,00
2.2	Herstellen der Holzbuhnen				
	Testbuhnenfeld 1				
2.2.10	Schüttsteine aufnehmen	510,00	t	5,00	2.550,00
2.2.20	Baugelände abräumen	4,00	St	200,00	800,00
2.2.30	Geräteinsatz für Einbringen der Pfähle	0,50	psch	1.500,00	750,00
2.2.35	Schüttsteine einbauen	200	t	5,00	1.000,00
2.2.37	Pfahfußverstärkung	1.190,00	St	5,00	5.950,00
2.2.40	Holzpfahl liefern*3,0m*Lärche	280,00	St	50,00	14.000,00
2.2.50	Holzpfahl liefern*3,0m*Cloeziana	190,00	St	105,00	19.950,00
2.2.60	Holzpfahl liefern*4,0m*Cloeziana	110,00	St	115,00	12.650,00
2.2.70	Holzpfahl liefern*5,0m*Cloeziana	150,00	St	125,00	18.750,00

2.2.80	Holzpfehl liefern*6,0m*Cloeziana	190,00 St	140,00	26.600,00
2.2.90	Holzpfehl liefern*7,0m*Cloeziana	210,00 St	155,00	32.550,00
2.2.100	Holzpfehl liefern*8,0m*Cloeziana	60,00 St	170,00	10.200,00
2.2.110	Holzpfehl rammen*3,0m*Lärche	280,00 St	25,00	7.000,00
2.2.120	Holzpfehl rammen*3,0m*Cloeziana	190,00 St	30,00	5.700,00
2.2.130	Holzpfehl rammen*4,0m*Cloeziana	110,00 St	35,00	3.850,00
2.2.140	Holzpfehl rammen*5,0m*Cloeziana	150,00 St	50,00	7.500,00
2.2.150	Holzpfehl rammen*6,0m*Cloeziana	190,00 St	65,00	12.350,00
2.2.160	Holzpfehl rammen*7,0m*Cloeziana	210,00 St	80,00	16.800,00
2.2.170	Holzpfehl rammen*8,0m*Eukalyptus	60,00 St	90,00	5.400,00
2.2.180	Pfahlkopf herrichten	1.190,00 St	5,00	5.950,00

Testbunnenfeld 2

2.2.190	Baugelände abräumen	4,00 St	200,00	800,00
2.2.200	Geräteinsatz für Einbringen der Pfähle	0,50 psch	1.500,00	750,00
2.2.205	Pfahlfußverstärkung	1.930,00 St	5,00	9.650,00
2.2.210	Holzpfehl liefern*3,0m*Lärche	510,00 St	50,00	25.500,00
2.2.220	Holzpfehl liefern*3,0m*Cloeziana	140,00 St	105,00	14.700,00
2.2.230	Holzpfehl liefern*4,0m*Cloeziana	330,00 St	115,00	37.950,00
2.2.240	Holzpfehl liefern*5,0m*Cloeziana	400,00 St	125,00	50.000,00
2.2.250	Holzpfehl liefern*6,0m*Cloeziana	530,00 St	140,00	74.200,00
2.2.260	Holzpfehl liefern*7,0m*Cloeziana	20,00 St	155,00	3.100,00
2.2.270	Holzpfehl rammen*3,0m*Lärche	510,00 St	25,00	12.750,00
2.2.280	Holzpfehl rammen*3,0m*Cloeziana	140,00 psch	30,00	4.200,00
2.2.290	Holzpfehl rammen*4,0m*Cloeziana	330,00 St	35,00	11.550,00
2.2.300	Holzpfehl rammen*5,0m*Cloeziana	400,00 St	50,00	20.000,00
2.2.310	Holzpfehl rammen*6,0m*Cloeziana	530,00 St	65,00	34.450,00
2.2.320	Holzpfehl rammen*7,0m*Cloeziana	20,00 St	80,00	1.600,00
2.2.330	Pfahlkopf herrichten	1.930,00 St	5,00	9.650,00
2.2.340	Stillliegezeit eines Rammgerätes	30,00 h	100,00	3.000,00
2.2.350	Stillliegezeit eines Rammgerätes	5,00 d	350,00	1.750,00
2.2.360	Stillliegezeit eines Rammgerätes	30,00 h	100,00	3.000,00
2.2.370	Stillliegezeit eines Rammgerätes	5,00 d	350,00	1.750,00
2.2.380	Hindernisbeseitigung	200,00 St	100,00	20.000,00
2.2.390	Holzpfehl ziehen	80,00 St	30,00	2.400,00

Zwischensumme 2.2

553.050,00

2.3 Stundenlohnarbeiten

2.3.10	Arbeitskraft Spezialbaufacharbeiter (III 1)	30,00 h	48,00	1.440,00
2.3.20	Arbeitskraft Baufacharbeiter (V 1)	30,00 h	42,00	1.260,00
2.3.30	Baugerät Bagger	60,00 h	65,00	3.900,00
2.3.40	LKW	100,00 h	65,00	6.500,00

Zwischensumme 2.3

13.100,00

2.4 Unvorhergesehenes

1 psch 55.650,00 55.650,00

Zwischensumme 2 Testbunnen

680.000,00

Zwischensumme 1 + 2		1.156.000,00
Nettobaukosten		1.156.000,00
Baunebenkosten		100.000,00
<u>Nettobaukosten inkl. Baunebenkosten</u>		<u>1.256.000,00</u>
zzgl. MwSt.	19,00 %	239.000,00
<u>Bruttobaukosten</u>		<u>1.495.000,00</u>



Stadt Heiligenhafen

Der Bürgermeister

Markt 4 - 5
23774 Heiligenhafen

Telefon: 0 43 62 / 906 6
Telefax: 0 43 62 / 6748

TESTBUHNEN UND STRANDAUFSPÜLUNGEN STEINWARDER

Entwurfsplanung

- Fotodokumentation -



INGENIEURBÜRO MOHN GmbH
Beratende Ingenieure

Industriestraße 36
25813 Husum

Telefon: 04841/8361 - 0
Telefax: 04841/8361 - 22



Abbildung 1: Blick von der Steinwarder Promenade in Richtung Osten auf das Bühnenfeld 1



Abbildung 2: Blick in Richtung Westen auf das Bühnenfeld 1



Abbildung 3: Vorhandenes Strandprofil



Abbildung 4: Schüttsteinbuhne im Bühnenfeld 1



Abbildung 5: Leeerosion im Bereich des zweiten Bühnenfeldes



Abbildung 6: Erosion bis zum Dünenfuß im Bühnenfeld 2



Abbildung 7: Blickrichtung Osten auf den Übergang Steinwarder/Graswarder



Stadt Heiligenhafen

Der Bürgermeister

Markt 4 - 5
23774 Heiligenhafen

Telefon: 0 43 62 / 906 6
Telefax: 0 43 62 / 6748

TESTBUHNEN UND STRANDAUFSPÜLUNGEN STEINWARDER

Entwurfsplanung

- Bemessung der Bühnen -



INGENIEURBÜRO MOHN GmbH Beratende Ingenieure

Industriestraße 36
25813 Husum

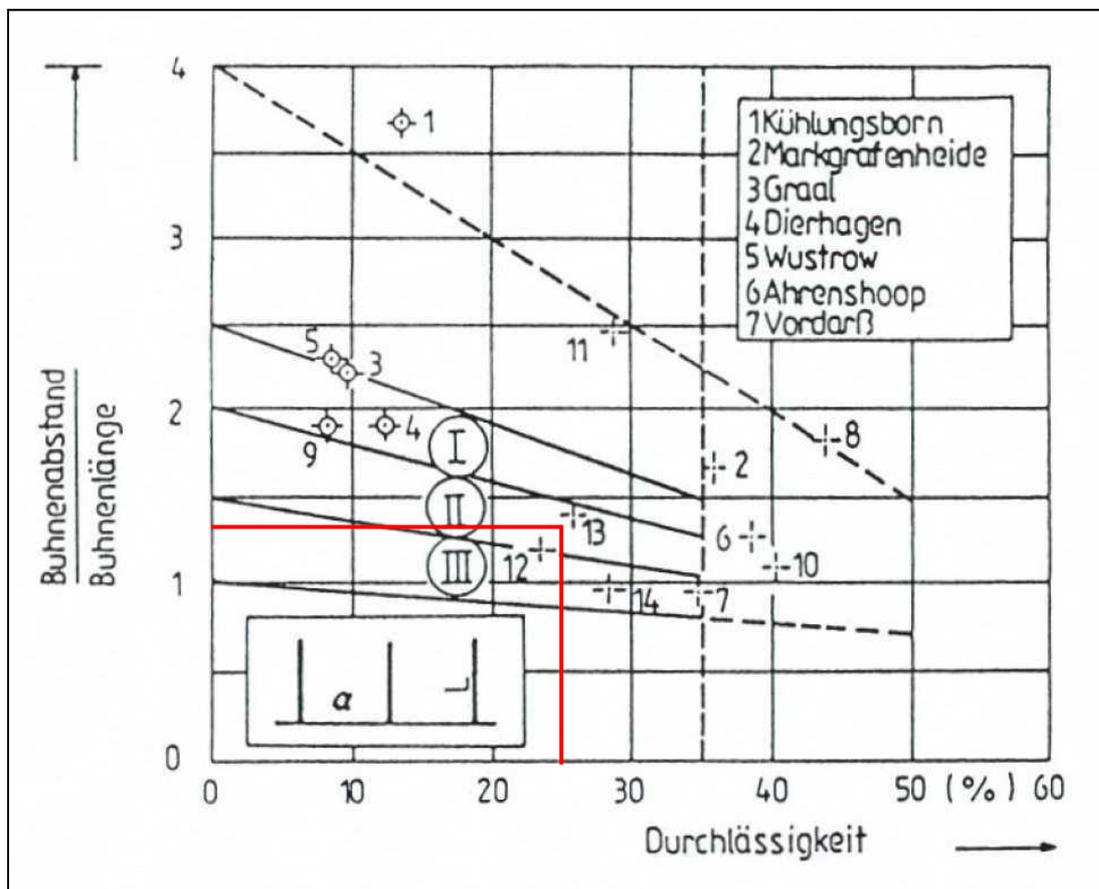
Telefon: 04841/8361 - 0
Telefax: 04841/8361 - 22

Ermittlung von Bühnenlänge und -abstand gemäß EAK 1993

Testbühnenfeld 1

Gegeben:

- Wellenlänge 42 m
- Schorreineigung 1:90
- Belastungsgrad der Küste mittel
- Durchschnittliche Durchlässigkeit 25 %
- Gewünschter Bühnenabstand 120 m

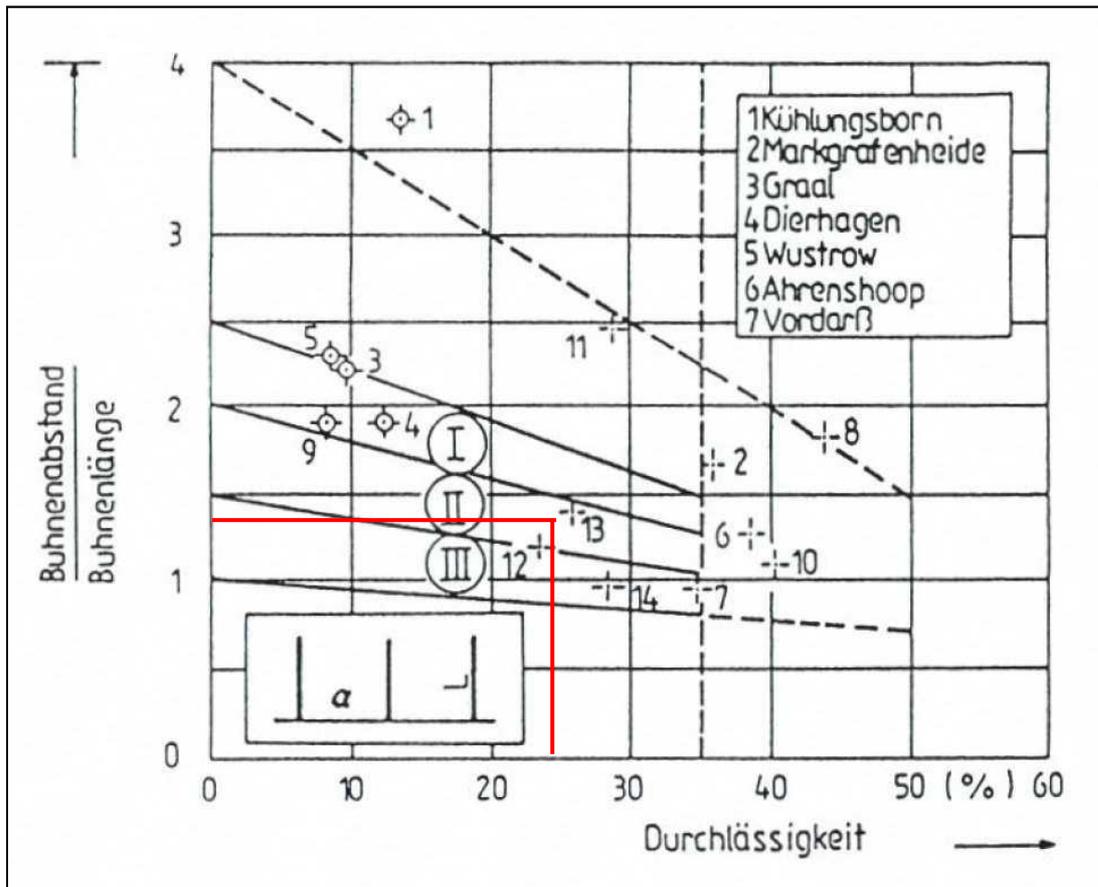


- Verhältnis Bühnenabstand/Bühnenlänge 1,35
- Bühnenlänge 90 m

Testbuhnenfeld 2

Gegeben:

- Wellenlänge 42 m
- Schorreinigung 1:110
- Belastungsgrad der Küste mittel
- Durchschnittliche Durchlässigkeit 25 %
- Gewünschte Buhnenlänge 130 m



- Verhältnis Buhnenabstand/Buhnenlänge 1,35
- Buhnenabstand 175 m

KÜSTENSCHUTZMAßNAHME TESTBUHNEN UND STRANDAUFSPÜLUNGEN STEINWARDER

ENTWURF

AUFTRAGGEBER:



Stadt Heiligenhafen
Der Bürgermeister

Markt 4 - 5
23774 Heiligenhafen

Telefon: 04362 / 906 - 6
Telefax: 04362 / 6748

E-Mail: info@heiligenhafen.de

PLANUNG:



INGENIEURBÜRO MOHN GmbH
Beratende Ingenieure

Industriestraße 36
25813 Husum

Telefon: 04841 / 8361 - 0
Telefax: 04841 / 8361 - 22

Husum, den 09.07.2015

PLANINHALT:

Übersichtskarte

GEZEICHNET: Hansen

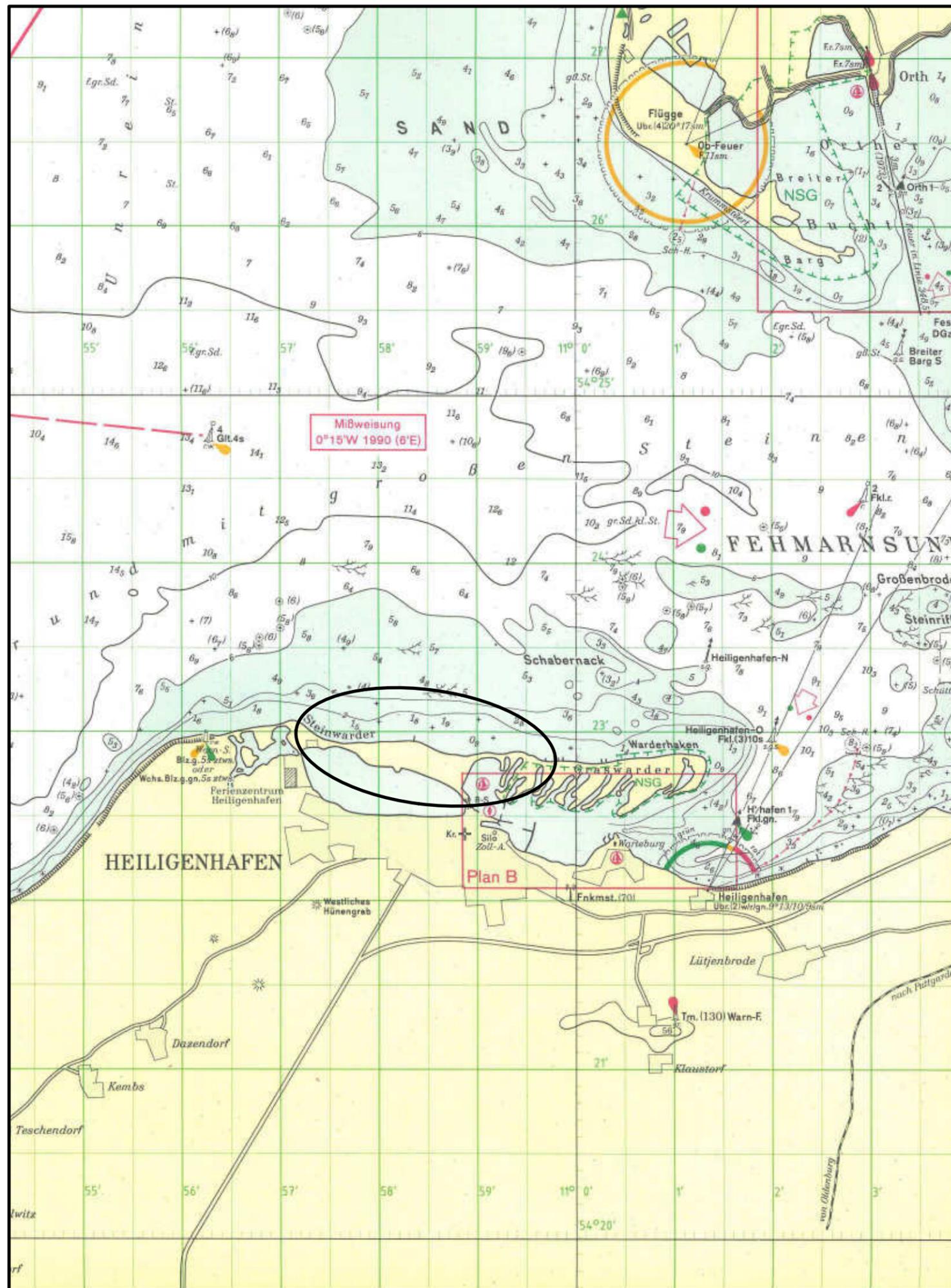
MASZSTAB:

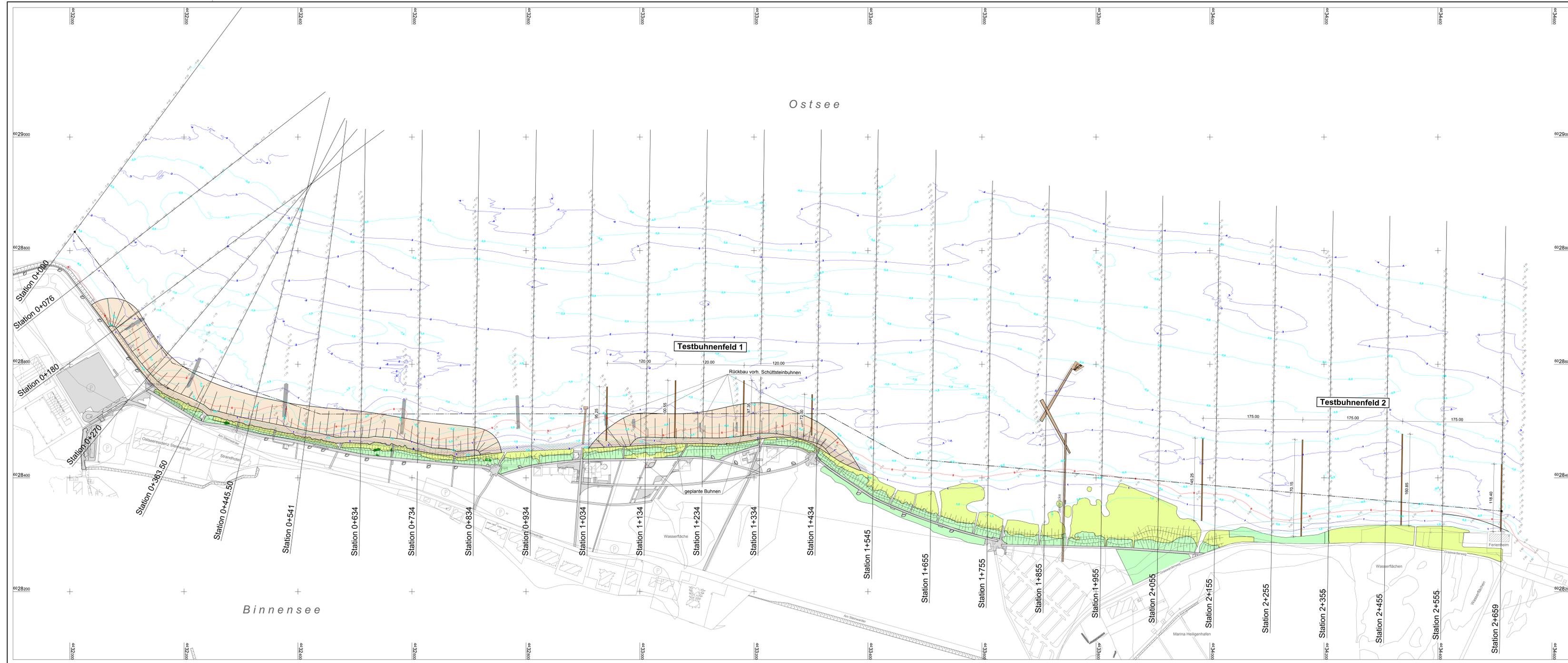
BLATT NR.:

BEARBEITET: Kreuzfeldt

1 : 50 000

1





LEGENDE

- Weißdünen
- Weißdünen renaturiert
- Dünenfußsicherung 2007/2008
- geplante Sandaufspülung

**KÜSTENSCHUTZMAßNAHME
TESTBUHNEN UND
STRANDAUFSPÜLUNGEN
STEINWARDER**

ENTWURF

AUFTRAGGEBER:

Stadt Heiligenhafen
 Der Bürgermeister
 Markt 4 - 5
 23774 Heiligenhafen
 E-Mail: info@heiligenhafen.de
 Telefon: 04362 / 906 - 6
 Telefax: 04362 / 6748

PLANUNG:

INGENIEURBÜRO MOHN GmbH
 Beratende Ingenieure
 Industriestraße 36
 25813 Husum
 Husum, den 23.05.2015
 Telefon: 04841 / 8361 - 0
 Telefax: 04841 / 8361 - 22

PLANNAMT:
Lageplan

GEZEICHNET: Hansen
 BEARBEITET: Kreuzfeldt
 MASSTAB:
1 : 2 000
 BLATT NR.:
2.1

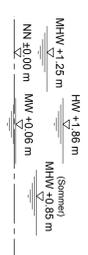
mit Überschreitschutz geplottet
 Lagebezug ist DHN 1990
 Höhenbezug ist DHN 1992
 dargestellt sind die mittleren Höhen

Name		Datum		Änderung		Auftrag	
NICOLA ENGINEERING GMBH		Verbindungsweg 40 · D 25469 Halstenbek		Tel. 04101 - 895 40-10 Fax. 04101 - 895 40-19		20.15	
Auftraggeber: Heiligenhafener Verkehrsbetriebe GmbH & Co. KG							
Projekt: Strandaufmaß Heiligenhafen Strand & Bühnenfelder							
Planstatus: Peilplan							
Aufnahme:	Gezeichnet:	Gezeichnet:	Gezeichnet:	Gezeichnet:	Gezeichnet:	Gezeichnet:	Gezeichnet:
12.03.2015	Hansen	Mohn	RTK/N5215	Neuhaus	Köhning		
Lagebezug:	DHN	Höhenbezug:	NHN 92	Papier:	PDGPS	Maßstab:	1:2000
Beauftragter:	Loba	Datum:	12.03.2015	Gezeichnet:	Nicola	Zeichnung:	IP-001
© NICOLA ENGINEERING GMBH 2015							

QUERPROFIL STATION 0+270 (Spülkörper 1)
M. 1 : 100

Wasser

Land



Station:	Höhe:
-35.000	-1.221
-34.000	-1.214
-33.000	-1.201
-32.000	-1.200
-31.000	-1.191
-30.000	-1.181
-29.000	-1.181
-28.000	-1.177
-27.000	-1.171
-26.000	-1.158
-25.000	-1.150
-24.000	-1.155
-23.000	-1.150
-22.000	-1.150
-21.000	-1.150
-20.000	-1.146
-19.000	-1.140
-18.000	-1.140
-17.000	-1.140
-16.000	-1.140
-15.000	-1.150
-14.000	-1.140
-13.000	-1.149
-12.000	-1.139
-11.000	-1.139
-10.000	-1.139
-9.000	-1.146
-8.000	-1.156
-7.000	-1.145
-6.000	-1.154
-5.000	-1.163
-4.000	-1.143
-3.000	-1.152
-2.000	-1.111
-1.000	-1.120
0.000	-1.110
1.000	-1.080
2.000	-1.047
3.000	-1.020
4.000	-1.010
5.000	-0.990
6.000	-1.000
7.000	-0.966
8.000	-0.921
9.000	-0.881
10.000	-0.861
11.000	-0.851
12.000	-0.872
13.000	-0.825
14.000	-0.771
15.000	-0.750
16.000	-0.706
17.000	-0.705
18.000	-0.686
19.000	-0.647
20.000	-0.612
21.000	-0.599
22.000	-0.580
23.000	-0.551
24.000	-0.511
25.000	-0.517
26.000	-0.529
27.000	-0.538
28.000	-0.514
29.000	-0.490
30.000	-0.466
31.000	-0.441
32.000	-0.417
33.000	-0.377
34.000	-0.332
35.000	-0.287
36.000	-0.242
37.000	-0.197
38.000	0.004
39.000	0.229
40.000	0.342
41.000	0.455
42.000	0.572
43.000	0.690
44.000	0.704
45.000	0.735
46.000	0.766
47.000	0.795
48.000	0.795
49.000	0.809
49.883	0.841
53.245	2.000

**KÜSTENSCHUTZMAßNAHME
TESTBUHNE UND
STRANDAUFSPÜLUNGEN
STEINWARDER**

ENTWURF

AUFTRAGGEBER:
Stadt Heiligenhafen
Der Bürgermeister
Markt 4 - 5
23774 Heiligenhafen
Telefon: 04362 / 906 - 6
Telefax: 04362 / 5748
E-Mail: info@heiligenhafen.de

PLANUNG:
INGENIEURBÜRO MOHN GmbH
Beratende Ingenieure
Industriestraße 36
23613 Husum
Husum, den 09.07.2015
Telefon: 04841 / 8381 - 0
Telefax: 04841 / 8381 - 22

PLANMATERIAL:
**Querprofil Station 0+270
(Spülkörper 1)**

GEZEICHNET: Hansen
ERARBEITET: Kreuzfeldt

MAßSTAB: 1 : 100
BLATTNR.: 3_1

HS - 287 / 1250 (33797)
Asgen 2015

QUERPROFIL STATION 1+234 (Spülkörper 2)

M. 1 : 100

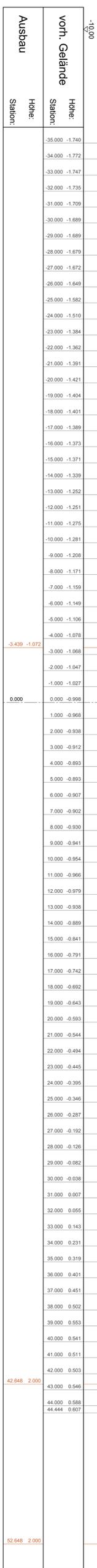
Wasser

Land

MHW +1,25 m
 NN +0,00 m
 MW +0,06 m
 (Somme)
 MHW +0,86 m

HW +1,86 m

+2,00
 10,00
 +2,00



vord. Gelände

Ausbau

**KÜSTENSCHUTZMAßNAHME
 TESTBUHNIEN UND
 STRANDAUFSPÜLUNGEN
 STEINWARDER**

ENTWURF

Stadt Heiligenhafen
 Der Bürgermeister
 Markt 4 - 5
 23774 Heiligenhafen
 Telefon: 04362 / 906 - 6
 Telefax: 04362 / 6748
 E-Mail: info@heiligenhafen.de

INGENIEURBÜRO MOHN GmbH
 Beratende Ingenieure
 Industriestraße 36
 23613 Husum
 Husum, den 09.07.2015
 Telefon: 04841 / 8381 - 0
 Telefax: 04841 / 8381 - 22

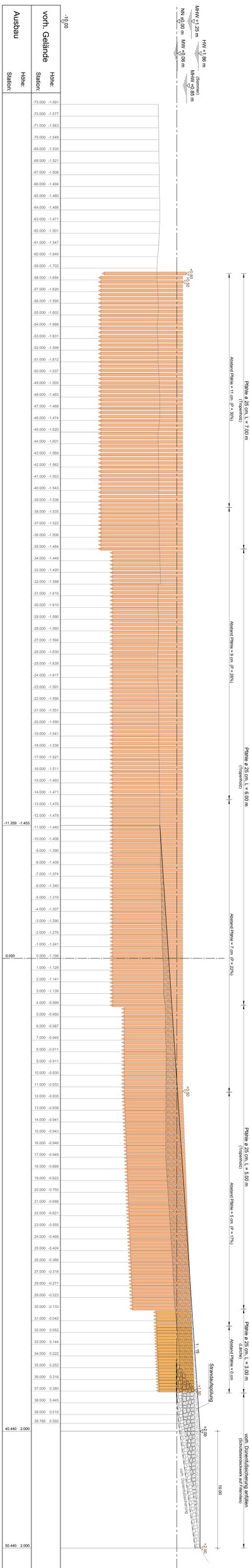
PLANUNG:
 PLANMANTL:
 QUERPROFIL STATION 1+234
 (Spülkörper 2)

GEZEICHNET: Hansen
 BEARBEITET: Kreuzfeldt
 1 : 100
 BLATTNR.: 3.2
 August 2015

SCHNITT BUHNE

M. 1 : 100

Wasser



Land

ENTWURF

KÜSTENSCHUTZMAßNAHME
TESTBUHNEN UND
STRANDAUFSPÜLUNGEN
STEINWARDER

AUFTRAGGEBER
Stadt Heiligenhafen
Der Bürgermeister
Markt 4 - 5
23774 Heiligenhafen
Telefon: 04362 / 906 - 6
Telefax: 04362 / 6748
E-Mail: info@heiligenhafen.de

PLANUNG
INGENIEURBÜRO MOHN GmbH
Beratende Ingenieure
Industriestradle 36
23913 Husum
Husum, den 07.07.2015
Telefon: 04841 / 8361 - 0
Telefax: 04841 / 8361 - 22

GEZEICHNET: Hansen
BEREITET: Kraußfeldt
HIS 2307 / 1000 (0.dam)

MASSSTAB: 1 : 100
BLATT NR.: 4.1
Augsen 2015