



# Auswirkungen des Baus einer Mole auf die Strömungs- und Sedimentverhältnisse in Hülsen/Schlei



Auftraggeber  
Marina Hülsen GmbH  
Hülsen 6  
24354 Kosel / OT Bohnert

Bearbeiter  
Dr. Kai Ahrendt  
Büro für Umwelt und Küste  
Steinstraße 25  
24118 Kiel

August 2016

## Inhaltsverzeichnis:

1 Veranlassung	... 1
2. Naturräumliche Gegebenheiten	... 1
2.1 Entstehung	... 1
2.2 Bathymetrie	... 2
2.3 Sedimente	... 3
2.4 Hydrologie und Fetch	... 3
2.5 Sedimenttransport	... 4
3 Baumaßnahme	... 7
4 Erhaltungsziele	... 9
5 Auswirkungsprognose	... 9

## Anhang

Stellungnahme zu Nachfragen	...11
-----------------------------	-------

## Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Der Hafen Hülsen	... 1
Abbildung 2: Bathymetrie der westlichen mittleren Schlei	... 2
Abbildung 3: Windwirklängen	... 4
Abbildung 4: Strömungsbild Bereich Hülsen	... 4
Abbildung 5: Bereich südwestlich des Hafens Hülsen	... 5
Abbildung 6: Der Hafen Hülsen	... 6
Abbildung 7: Der Bereich östlich des Hafens Hülsen	... 6
Abbildung 8: Draufsicht und Querschnitt der Baumaßnahme	... 8
Abbildung 9: Prinzipskizze Strömung und Sedimenttransport	... 9
Abbildung 10: Querschnittsbreiten	...12

## 1 Veranlassung

Die Marina Hülsen GmbH plant eine Mole im Süden des vorhandenen Hafens (Abb. 1) zu errichten. Hierdurch kann es zur Beeinflussung der Strömungs- und Sedimenttransportverhältnisse kommen. Mögliche Auswirkungen werden im vorliegenden Bericht erörtert.



Abbildung 1: Der Hafen Hülsen (Quelle: Google Earth)

## 2. Naturräumliche Gegebenheiten

Für ein besseres Verständnis der hydrologischen und sedimentologischen Vorgänge werden im Folgenden die naturräumlichen Gegebenheiten kurz dargestellt.

### 2.1 Entstehung

Die Schlei ist eine stark gegliederte, lang gestreckte und überwiegend flache Förde der Ostseeküste Schleswig - Holsteins. Mit einer Länge von ca. 45 km erstreckt sie sich zwischen Schleswig und der Schleimündung in Olpenitz/Maasholm. Die Schlei entstand während der letzten Vereisung, der Weichsel-Eiszeit vor 115.000 bis 11.000 Jahren durch das Abschmelzen der von Skandinavien vorgedrungenen Eismassen. Die Schlei ist keine Förde im klassischen Sinne sondern stellt eine Abflusssenke der Schmelzwässer dar. Die Schlei wurde demnach nicht durch Gletscherzungen innerhalb des Inlandeises herausgeschürft, sondern entstand durch subglaziale glazifluviale Erosion bedingt durch Schmelzwasser, als sogenanntes Tunneltal.

Der Bereich der mittleren Schlei von Missunde bis Kappeln wird von Grund - und Endmoränen bestimmt. Von der flussförmigen Schlei sind mehrere Noore (Missunder Noor,

Ornumer Noor, Büstorfer Noor, Bukenoor) mehr oder weniger vollständig abgeteilt. Ihre Entstehung geht auf Gletscherzungen und Eisloben zurück. An flachen Strandwällen entstanden kleine Strandseen. Einige kleine Bachschluchten durchbrechen die Steilufer und liefern Frischwasser in die Schlei.

## 2.2 Bathymetrie

Die Schlei weist eine durchschnittliche Wassertiefe von ca. 3m auf. Die tiefsten Stellen werden bei Missunde mit 10-11m und bei Rabelsund mit 16m erreicht.

Im Planungsraum treten vor der Insel Kielholm Wassertiefen bis -7,5m auf (Abb. 2). Ebenso kommen derartige Wassertiefen an der schmalsten Stelle westlich des Hafens vor. Hier ist die Schlei nur 320m breit, östlich des Hafens dagegen 830m. Hier nimmt die Wassertiefe im Stromstrich schnell auf -4m ab. Der Hafen selbst weist Wassertiefen bis 3m auf. Südwestlich der Hafenanlage nimmt die Wassertiefe auf 0,8m ab (Abb. 8).

Der Abbildung 2 liegen die Vermessungsdaten des BSH aus unterschiedlichen Jahrgängen sowie die Uferlinie des LKN zu Grunde. Wassertiefen geringer als 1m wurden von der BSH aus technischen Gründen kaum aufgenommen. Hieraus ergibt sich eine Datenlücke zwischen der -1m und der Uferlinie. Aus den beiden Datensätzen wurde 5m x 5m Raster errechnet. Die Tiefenangaben im Flachwasserbereich sind daher stark interpoliert.

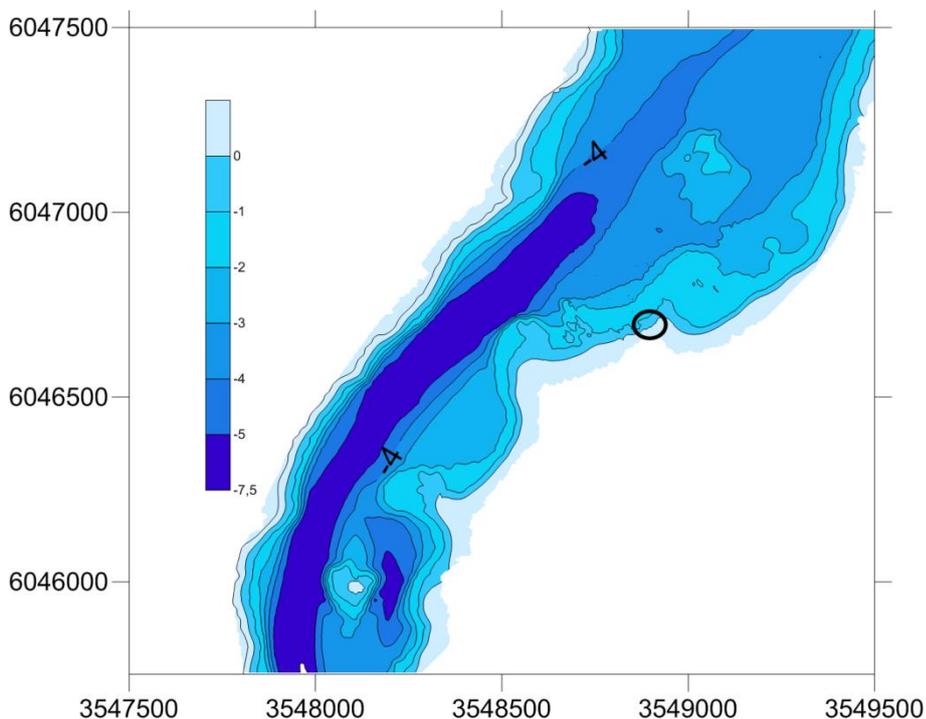


Abbildung 2: Bathymetrie der westlichen mittleren Schlei um den Sportboothafen Hülßen (Datengrundlage Originaldaten BSH)

### 2.3 Sedimente

In den seeartigen Verbreiterungen der inneren und der äußeren Schlei treten Schlamme am Grund der Gewässer auf. Auch in den Randbereichen ist eine Verlandung festzustellen. In den schmalen Verbindungen zwischen den einzelnen seeartigen Verbreiterungen treten dagegen Sande mit Beimengungen von Schluff auf. Hier sind die Strömungsgeschwindigkeiten in der Schlei am höchsten.

### 2.4 Hydrologie und Fetch/Windwirklänge

In die Schlei münden Fließgewässer aus einem großen Einzugsgebiet. Die hydrologischen Fließbewegungen, die sich aus dem Zustrom von Fließgewässern in die Schlei ergeben, werden von den windbedingten Wasserbewegungen und zeitverzögerten Wasserstandsschwankungen der Ostsee überdeckt. Kleinere oder größere Wassermassen werden von einem Schlei Becken zum nächsten gedrückt. Bei starkem Ostwind oder durch Rückfluss der nach starken und/oder langen Westwinden in der Ostsee nach Osten gedrückten Wassermassen, gelangt viel salzhaltiges Ostseewasser in die Schlei. So kommt es neben Ausstromlagen auch zu Einstromereignissen (neben den lunaren und windbedingten Wasserbewegungen).

Die Engstellen bei Missunde, Lindaunis, Arnis und Kappeln weisen heute bei wechselnden Wasserständen die größten Strömungsgeschwindigkeiten auf.

Der windbestimmte Wasserstand der Schlei unterliegt Schwankungen von bis zu 3 m.

Durch den Einstrom von Ostseewasser an der Schleimündung sowie dem Zufluss von Süßwasser aus dem Einzugsgebiet bildet sich auf der gesamten Länge ein Salzgradient aus, der im inneren Bereich etwa eine Salinität von 3 -8‰ und im äußeren etwa von 15 - 20‰ erreicht. Die Öffnung zur Ostsee ist durch nehrungsähnliche Landzungen stark eingengt, was den Wasseraustausch insbesondere auch in der inneren Schlei stark einschränkt.

Wellen werden durch den auf die Wasseroberfläche wirkenden Wind erzeugt. Die offene Windwirklänge (Fetch) im Planungsraum beträgt aus Westen 1,1km (230,52°), so dass hier nur sehr kleine Wellenhöhen erzeugt werden können. Die Windwirklänge aus Osten beträgt hingegen 4,6km (44,05°) und es können bei entsprechend langer Dauer von Ostwinden höhere Wellen auftreten (Abb. 3). Diese werden aber durch den Hafen abgeschwächt und gelangen nicht in den Planungsraum.

Für den erweiterten Planungsraum wurde ein HN-Modell aufgesetzt. Die topographische Grundlage stellt das 5m x 5m Raster dar. Als hydrologischer Parameter wurde ein Wasserstandsunterschied von 0,01m zwischen dem offenen Rand im Südwesten und dem offenen Rand im Nordosten eingespielt. Zusätzlich wurde ein Wind aus Richtung 232° mit 10m/s angesetzt. Die Ergebnisse der Strömungsmodellierung stellen somit nur eine prinzipielle Aussage dar (Abb. 4).

Die Hauptströmung läuft entlang des Stromstriches und weist Strömungen in Größenordnungen von wenigen Zentimetern pro Sekunde auf. Am Nehrungshaken südwestlich des Hafens kommt es zu einem Strömungsabriss und in der kleinen Bucht gehen die Strömungsgeschwindigkeiten auf teilweise unter 1cm pro Sekunde zurück. Im nordwestlichen Bereich des Hafens schwingt eine geringe Strömung landwärts. Schwankende Wasserstände, also Ein- und Ausströmungen, können aber auch zu einer Strömungsumkehr und im ufernahen Bereich zu einer der im Stromstrich vorherrschenden gegenläufigen Strömungsrichtung führen.

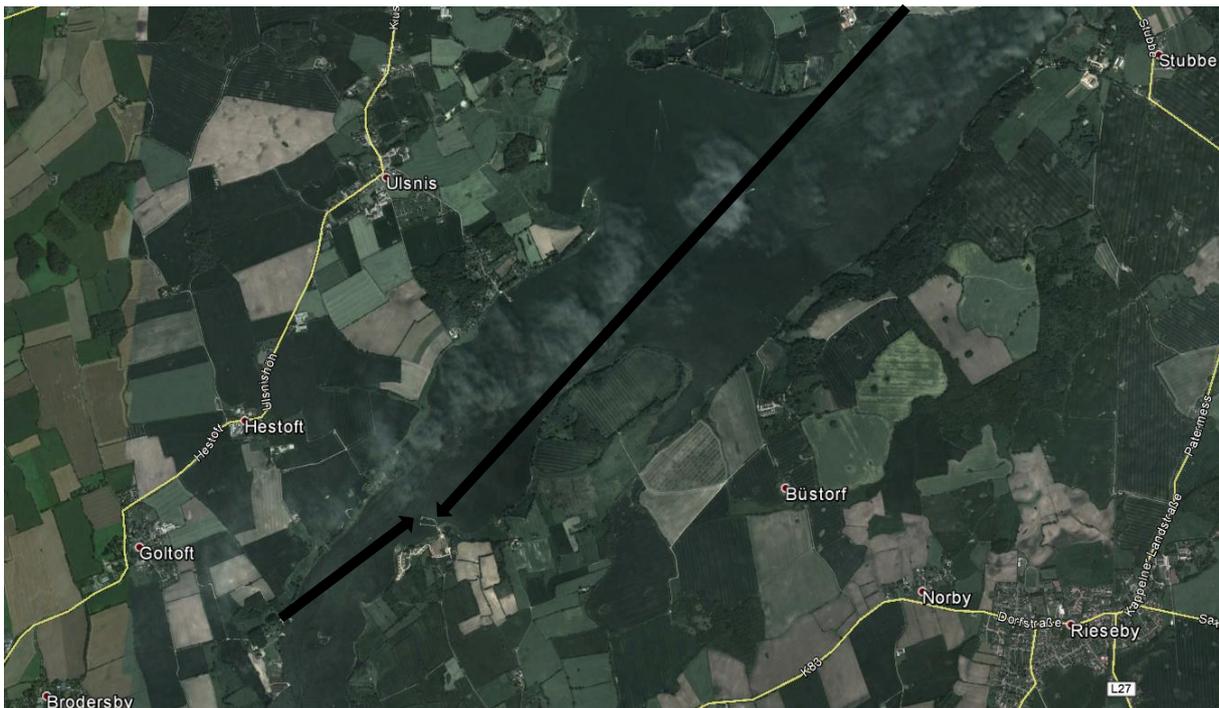


Abbildung 3: Windwirkklängen (Quelle: Google Earth)

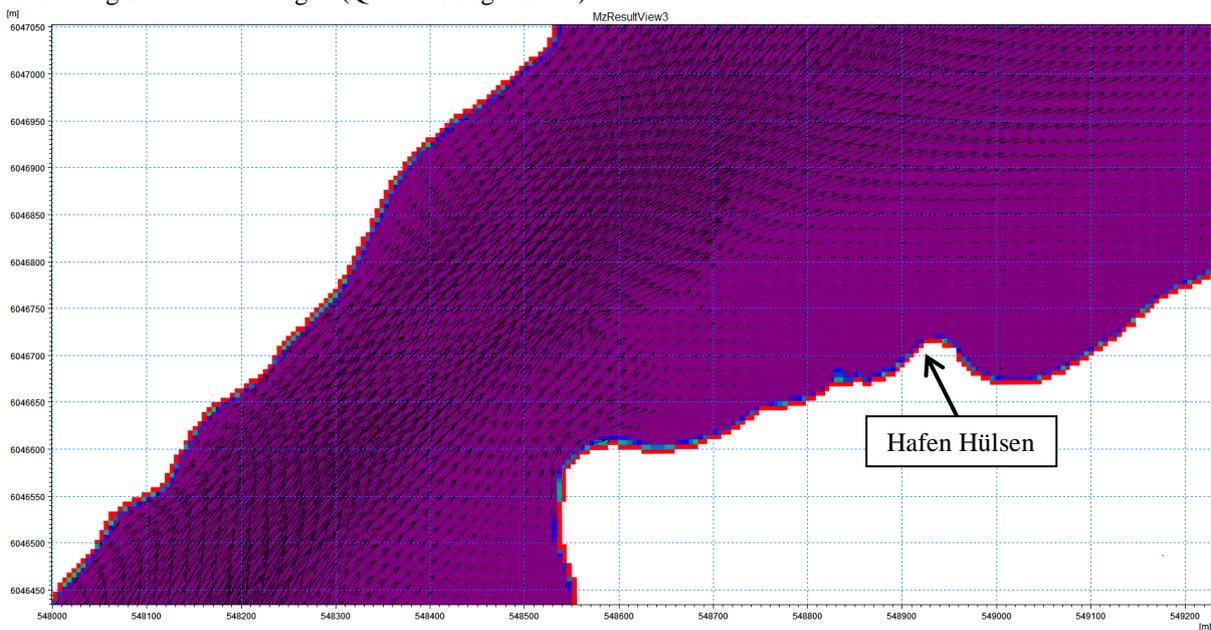


Abbildung 4: Strömungsbild Bereich Hülsen bei Westwind

## 2.5 Sedimenttransport

Der Sedimenttransport in der Schlei findet überwiegend Richtung Ostsee statt. Vor Schleimünde in der Ostsee lagern Sande auf dem Seegrund ähnlich einer Flussmündung. Der zeitweilige Einstrom von Ostseewassermassen liefert kaum Sedimente für die mittlere Schlei. Die sandig-schluffigen Sedimente stammen überwiegend aus der Erosion von ehemaligen aktiven Kliffs. Im Planungsraum liefert die Insel Kielholm zusätzlich Sedimente an. Auf Abbildung 5 ist deutlich der nach Nordosten gerichtete Sedimenttransport in Form eines Strandhakens zu erkennen. Aufgrund der Erweiterung des Querschnittes der Schlei bis zum Bereich des Hafens verringert sich hier die Strömungsgeschwindigkeit und der Transport größerer Sedimentes in die Bucht reißt ab. Erst im Bereich des Hafens und weiter nordöstlich lagern sich wieder sandige Sedimente ab (Abb. 6 u. 7). Im Uferbereich der Bucht sorgt der Schilfbewuchs für das Einfangen feinkörniger Sedimente.



Abbildung 5: Bereich südwestlich des Hafens Hülsen (Quelle: VPS)

Schlei rechts  
Aufnahmedatum: 09.06.2015  
**km 101,8**

Quelle: VPS.system Fotoarchiv [www.vps-web.de]



Abbildung 6: Der Hafen Hülens (Quelle: VPS)

Schlei rechts  
Aufnahmedatum: 09.06.2015  
**km 102,1**

Quelle: VPS.system Fotoarchiv [www.vps-web.de]



Abbildung 7: Der Bereich nordöstlich des Hafens Hülens (Quelle: VPS)

### 3 Baumaßnahme

Südlich der vorhandenen Hafenanlage soll eine 100m lange und auf +0,85m Höhe NN Mole errichtet werden (Abb. 8). Die Wassertiefe in diesem Bereich beträgt ca. 1m. Die Gründungsbreite beträgt 6,91m. Das Bauwerk ist wasserundurchlässig. Wichtig zu betonen ist, dass das Bauwerk nicht ans Land angeschlossen ist sondern ein mehrere Meter breiter Durchlass zwischen Bauwerk und Ufer erhalten bleibt. Die Hafenanlage selbst ist komplett durchströmbar.

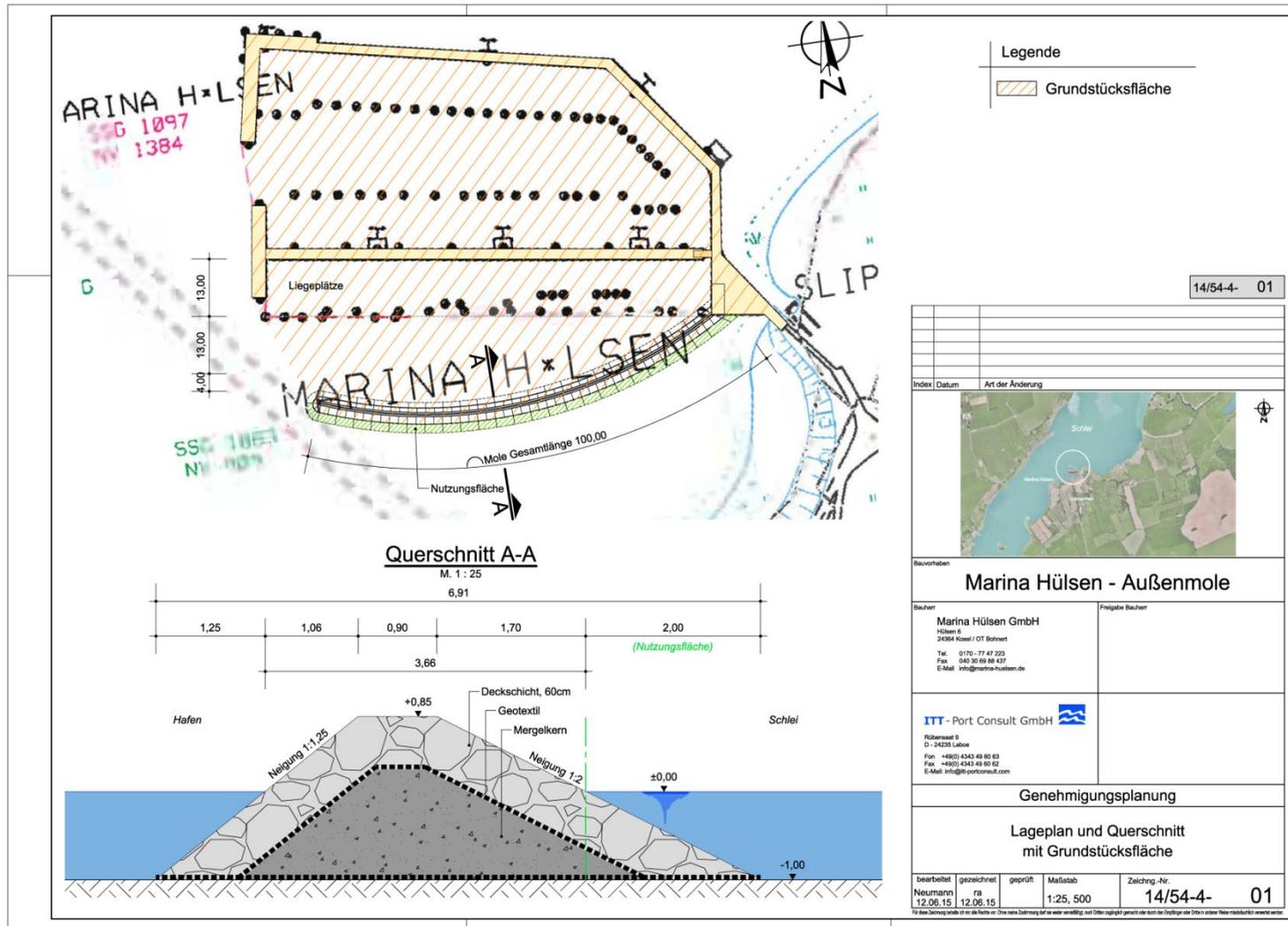


Abbildung 8: Draufsicht und Querschnitt der Baumaßnahme

#### 4 Erhaltungsziele

Die Schlei ist unter dem Namen DE-1423-394 „Schlei incl. Schleimündung und vorgelagerter Flachgründe“ als FFH-Gebiet von gemeinschaftlicher Bedeutung eingestuft.

Das Gebiet ist unter anderem für die Erhaltung des prioritären Lebensraumtyp 1160 „flache große Meeresarme und –buchten“ klassifiziert.

Die Erhaltungsziele für den Lebensraumtypen und Arten von besonderer Bedeutung 1160 „flache große Meeresarme und –buchten (Flachwasserzonen und Seegraswiesen)“ sind folgende:

- I Erhalt der weitgehenden natürlichen Morphodynamik des Bodens, der Flachwasserbereiche und der Uferzonen,
- II Erhalt der vielgestaltigen geomorphologischen Strukturen der Schlei-Förde mit ihren charakteristischen Engen und Breiten sowie der vielfältigen, häufig naturnahen Lebensräumen,
- III Erhalt der weitgehend natürlichen hydrophysikalischen Gewässerverhältnisse und Prozesse und der hydrochemischen Verhältnisse (insbesondere der Wasseraustausch mit der offenen Ostsee, der für die Schlei charakteristischen Salzgradient).

#### 5 Auswirkungsprognose

Eine hydronumerische Modellierung der Baumaßnahme wurde auf Grund der schlechten Datenbasis nicht durchgeführt, da keine belastbaren Ergebnisse erzielt werden können. In Abbildung 9 sind die Strömungs- und Sedimenttransportverhältnisse daher nur skizzenhaft dargestellt.

Die Baumaßnahme findet außerhalb der Hauptströmungsrichtung statt. Die relativ geringen küstenparallelen Strömungen in der kleinen Bucht südlich des Hafens werden zwar durch die Mole unterbrochen, aber durch die Öffnung zwischen Mole und Ufer kann hier das Wasser weiterhin aus der Bucht nach Nordosten abfließen. Eine Verlandung im Bereich vor der Mole wird nicht erwartet. Die feinkörnigen Sedimente, vor allem die Suspension in der Wassersäule, werden weiterhin im Schilfbewuchs sedimentieren können. Die weitgehende natürliche Morphodynamik des Bodens, der Flachwasserbereiche und Uferzonen (Erhaltungsziel I) wird nicht nachhaltig beeinflusst.

Auf Grund der sehr kleinräumlichen Auswirkungen der Baumaßnahme werden die vielgestaltigen geomorphologischen Strukturen der Schlei-Förde mit ihren charakteristischen Engen und Breiten sowie der vielfältigen, häufig naturnahen Lebensräumen (Erhaltungsziel II) nicht beeinflusst.

Auf das Erhaltungsziel III, die weitgehend natürlichen hydrophysikalischen Gewässerverhältnisse und Prozesse und der hydrochemischen Verhältnisse (insbesondere der Wasseraustausch mit der offenen Ostsee, der für die Schlei charakteristischen Salzgradient) nicht zu beeinträchtigen hat die Baumaßnahme keinen Einfluss.

Bei einer naturnahen Oberflächengestaltung der Mole für Zielorganismen könnten hier entsprechende Spezies siedeln und die Biodiversität erhöht werden.

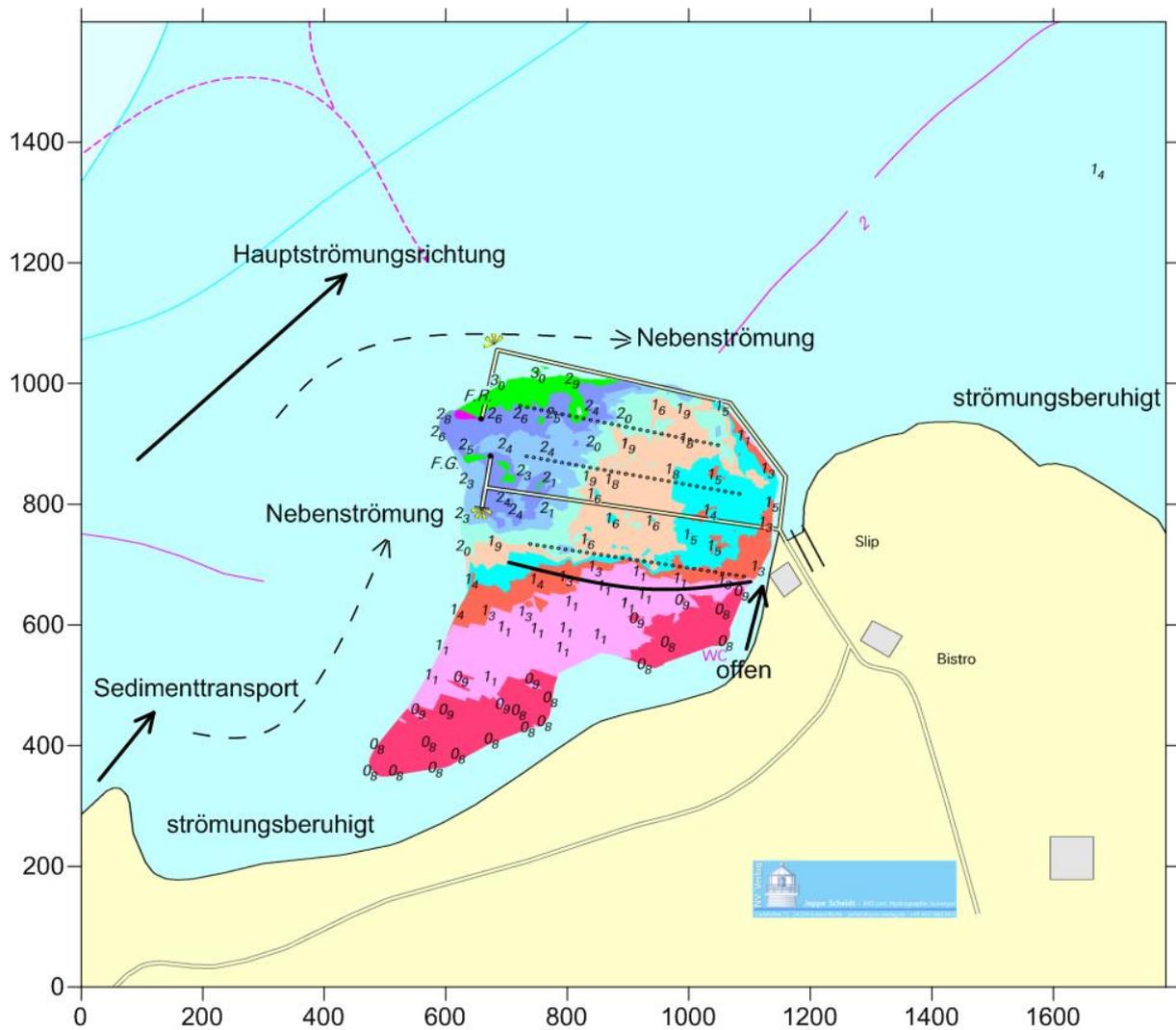


Abbildung 9: Prinzipische Skizze Strömung und Sedimenttransport

## Anlage: Stellungnahme zu Nachfragen

*Wurden beim Aufstellungsverfahren die Bedingungen in der Schlei z.B. die Strömungsverhältnisse, die Schwankungen des Wasserstandes von bis zu einem Meter in der Schlei hinreichend berücksichtigt?*

Berücksichtigt wurden Wasserstandsschwankungen von +/- 16cm des Pegels Schleswig. Da die Ergebnisse des Modells nicht durch Naturmessungen/daten verifiziert werden können, stellen die Ergebnisse auch nur eine Prinzipstudie für mittlere Verhältnisse da. Extreme Ereignisse, die zeitlich sehr eingeschränkt auftreten, werden hierdurch nicht wiedergespiegelt. Augenscheinlich mögen Extremereignisse, hier besonders Hochwässer, im Uferbereich für Veränderungen sorgen, werden aber das mittlere Strömung- und Sedimenttransportverhalten nicht verändern. Aufgrund der vorliegenden berechtigten Nachfrage wurden zwei weitere Modellläufe mit +80cm und -80cm Wasserstand und einer Wasserstandsänderung von +/-16cm durchgeführt. Diese Modellrechnungen zeigen keine Auffälligkeiten gegenüber den „mittleren“ Verhältnissen. So unterscheiden sich die Strömungsverhältnisse zwischen mittlerem Wasserstand und Hochwasserstand kaum. Einzig bei Niedrigwasser treten leicht geänderte Strömungsrichtungsverhältnisse in der kleinen Bucht südwestlich des Hafens auf, da hier die Wasserbedeckung sehr gering ist und Teile der Bucht trockenfallen.

*Wenn die Verlandung so erheblich ist, ist der Standort geeignet?*

Ein Sedimenttransport quer zum Stromstrich findet nur in Ausnahmefällen statt. Daher sind Baumaßnahmen, die den Sedimenttransport parallel zum Ufer verändern, eine sinnvolle Maßnahme. In dem betrachteten Bereich findet der Sedimenttransport eindeutig Schlei auswärts gerichtet statt, so dass dieser Standort für den Eingriff der Manipulation des Sedimenttransportes sinnvoll erscheint.

*Laut Ihrem Bericht erfolgt die wesentliche Verlagerung nur in der Fahrrinne. Wurden fallbezogene Daten erhoben? Die Schlei ist an der Stelle 230 m breit, mind. 50 m der Gewässerbreite werden von dem Hafen beansprucht. Wenn sich die Sandmassen in den Bereich der Fahrrinne verlagern, ist eine Gefährdung des Verkehrs auf der Bundeswasserstraße nicht ausgeschlossen.*

Die wesentliche Sedimentverlagerung erfolgt keinesfalls nur in der Strommitte. Hier treten nur die größten Strömungsgeschwindigkeiten auf. Entscheiden ist das Sedimentangebot. Dieses ist im flacheren Bereich in Relation zur Strömungsgeschwindigkeit größer gegenüber der Strommitte. Der Querschnitt der Schlei erweitert sich von 320m im Südwesten (schmalste Stelle, Abb. 10)) auf 420m im Hafensbereich. Daher muss die Strömungsgeschwindigkeit auf Grund der Konstanz der Wassermenge bei einem größeren Querschnitt geringer werden und das transportierte Sediment wird sich (in Relation von Korngröße und Strömungsgeschwindigkeit) absetzen, wie deutlich am Nehrungshaken am südwestlich des Hafens gelegenen Landvorsprungs zu erkennen. Da die Baumaßnahme weit entfernt von der Fahrrinne liegt, ist eine Verflachung der Fahrrinne durch Sedimenttransport quer zur Strömungsrichtung, extrem unwahrscheinlich. Der Bereich unterhalb von -5m Wassertiefe weist eine Breite von ca. 125m und der von -4m eine Breite 180m auf.



Abbildung 10: Querschnittsbreiten

*Das bisherige "Baggergut" wird künftig an anderer Stelle angeschwemmt. Dort ist dann mit einer erheblichen Veränderung oder Beeinträchtigung der natürlichen Verhältnisse zu rechnen. Dazu sind belastbare Aussagen vorzulegen.*

Das bisherige Baggergut (ca. 1.800m<sup>3</sup>) wurde dem System entzogen. Bisher wurde einmal gebaggert, und zwar im Zuge der Renovierung/Erneuerung des Hafens im Jahr 2010/2011. Der Hafen sollte auch Segelbooten mit größerem Tiefgang eine Anlaufmöglichkeit bieten. Durch den Bau der Mole wird eine Verflachung/Versandung dieses Hafensbereichs unterbunden, so dass daher davon auszugehen ist, dass in Zukunft nur sehr selten gebaggert werden muss. In den kleinen Buchten der Schlei kommt es im Laufe der Zeit zu natürlichen Sedimentablagerungen (auch im künstlich vertieften Bereich des Hafens) und es entstehen im ufernahen Bereich Flachwasserzonen mit Röhrichtbestand.

Die südlich des Hafens gelegene Bucht wird sich auf natürliche Weise im Laufe der Zeit in der direkten Uferzone weiter verflachen, wenn die Umweltbedingungen (mittlerer Wasserstand, Windverhältnisse etc. Stichwort „Klimaveränderung“) konstant bleiben. Direkt vor der Mole kann es zu einer leichten Veränderung des Tiefenniveaus kommen, die aber auf wenige Meter vor der Mole beschränkt sein wird. Dies wird zeitlich begrenzt sein, bis sich ein

Gleichgewicht eingestellt hat. Die durch die Mole umgelenkten Strömungen werden das suspendierte Material aber auch den Bodentransport östlich wie westlich um die Mole herum weiterhin Schlei auswärts verfrachten. Das vorhandene „Gleichgewicht“ zwischen Sedimenttransport und Topographie außerhalb des Molenbereichs wird dadurch nicht verändert werden, da die Strömungsverhältnisse in dem Bereich außerhalb der Baumaßnahme nur sehr lokal (im Hafbereich) verändert werden. Der im Durchlass zwischen Ufer und Mole stattfindende Sedimenttransport stellt damit auch nach wie vor Material für die natürliche Versandung der nördlichen Bucht zu Verfügung. Westlich der Mole fällt der Schleigrund relativ schnell auf -3m ab, so dass hier keine Probleme auftreten sollten. Insgesamt wird das Sedimentangebot durch die Baumaßnahme nicht verändert.

*Bitte um eine Auseinandersetzung mit dem verringerten Wasseraustausch, der Kumulation der Eingriffe oder auch der Nullvariante.*

Der Wasseraustausch der kleinen Bucht mit der Schlei ist nach wie vor gewährleistet, da die Mole keine Anbindung an das Ufer hat und land- wie seeseitig der Mole der Wasseraustausch stattfinden kann. Die Veränderung des Wasseraustausches gegenüber der Nullvariante dürfte marginal sein, da zur Schleimitte hin weiterhin der gesamte Querschnitt für den Wasseraustausch zur Verfügung steht. Meines Kenntnisstand nach sind keine weiteren Eingriffe geplant, so dass kumulative Effekte nicht auftreten.

*Es ist davon auszugehen, dass durch die Errichtung der Steinmole die Ablagerung des Sedimentes nur räumlich verschoben wird. Somit wären trotzdem weitere Baggerarbeiten notwendig. So muss eine Beeinträchtigung durch Sedimentverwirbelungen bzw. Einträge in den FFH- Lebensraumtyp 1160 (Flachwasserzonen und Seegrasswiesen) sowie die Beeinträchtigung der Röhrichtzonen vermieden werden. Gibt es hierzu Vorschläge Ihrerseits, wie dies umgesetzt werden könnte oder sehen Sie hier kein Konflikt-Potential?*

Sollte in Zukunft eine weitere Unterhaltungsmaßnahme zur Aufrechterhaltung der schiffbaren Tiefe notwendig sein, verhindert die Mole während der Baggerarbeiten den Suspensionstransport in die südwestliche Bucht (bei Ost- wie Westwind). Baggerarbeiten sollten bei Westwind erfolgen, da dann die Mole eine schützende Wirkung (Strömungsreduzierung) auf den Suspensionstransport nach Nordosten aufweist.

*Die Auswirkungen von Hartsubstraten durch den Bau der Steinmole in das FFH-Gebiet mit seinen sandigen Substraten müssen dargelegt werden.*

Es wird kein sandiges Substrat eingebracht. Das Baggergut wird vielmehr als Kern (verpackt) für die Mole verwendet. Die Oberflächenabdeckung erfolgt durch Natursteine. Hartsubstrat stellt eine absolute Bereicherung der ökosystemaren Dienstleistungen im Sinne der Erhaltung bzw. Verbesserung der Biodiversität dar. Die glazial geprägte Schlei weist an ihren Ufern vielfältige unterschiedliche Substrate auf. Üblicherweise enthalten glaziale Ablagerungen in diesem Bereich Grobklastika. Vielfach wurden Steine in der Vergangenheit aber für technologische Verarbeitung vom Menschen der Natur entnommen und die Biodiversität (Siedlungsgrund, Brutstätte, Versteck für Jungfische etc.) degradiert. Durch ein intelligentes

Design des Oberflächenaufbaus der Mole kann hier ein Beitrag zur Erhöhung der Biodiversität geleistet werden in dem ein ehemaliger Zustand wieder hergestellt wird.