Planfeststellungsverfahren

für den
Ersatz der beiden Kleinen Schleusenkammern und
Anpassung der Vorhäfen in Kiel-Holtenau

VORHABENTRÄGER:

WASSERSTRASSEN- UND SCHIFFFAHRTSAMT KIEL-HOLTENAU

SCHLEUSENINSEL 2

24159 KIEL-HOLTENAU

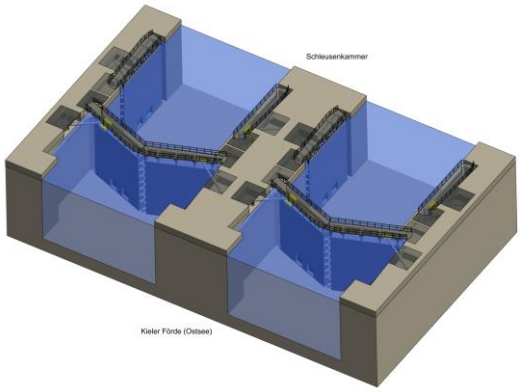
WSV.de
Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes

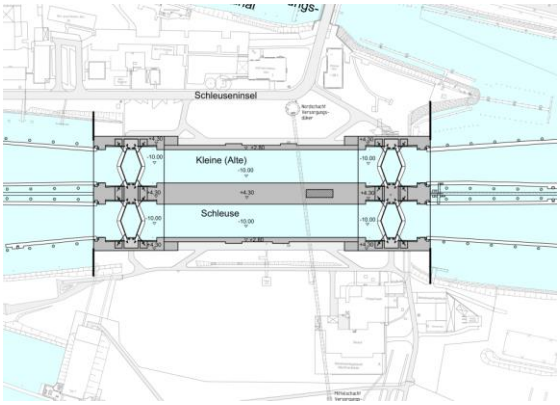
6.2.1

Bericht

WSV.de
Wasserstraßen- und
Schifffahrtsverwaltung
des Bundes

Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau
Grundinstandsetzung
Alte Schleuse Kiel - Holtenau





Sensitivitätsbetrachtung

unter Annahme eines beschleunigten Meeresspiegelanstieges

(Version 3.0) – Stand 09.02.2018

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung und Veranlassung 4
1.1 Veranlassung 4
2 Aufgabenstellung 5
3 Planungsgrundlagen für die Sensitivitätsbetrachtung 5
3.1 Allgemeines 5
3.2 Wasserstände 5
3.3 Baugrund 7
3.4 Grundwasser 7
3.5 Bemessungsgrundlagen 8
3.6 Schiffsverkehr, Schiffsabmessungen 8
3.7 Vorgaben aus der Nautik 8
3.8 Anforderungen an die Wegeplanung 8
3.9 Hochwasserschutz 8
3.10 Betriebliche Planungsanforderungen 8
3.11 Schleusungszeiten 9
3.12 Weitere Planungsrandbedingungen 9
3.12.1 Nutzabmessungen 9
3.12.2 Überflutungsschutz 9
3.12.3 Befüllung/ Entleerung 9
3.12.4 Revision 9
4 Variantenuntersuchungen 10
4.1 Variantenuntersuchung Torkonstruktion 10
4.2 Variantenuntersuchung Notverschlusssystem (Havarie) 23
5 Auswirkungen auf den Massivbau 27
5.1 Umsetzung des Ersatzneubaus (T0) 27
5.2 Baugrube (T0) 30
5.3 Ausbauzustand (T2100) 30
6 Auswirkungen auf den Stahlwasserbau 33
6.1 Zielvariante Verschlüsse 33
6.2 Untersuchung zur Weiternutzung der vorh. Revisionsverschlüsse 39
6.3 Untersuchung eines Notverschlusssystems 42
7 Auswirkungen auf die Technische Ausrüstung 43
7.1 Erneuerung der Maschinen- und Antriebstechnik 43
7.2 Erneuerung der Elektro- und Steuerungstechnik 44
8 Auswirkungen auf weitere Bauteile 44
8.1 Ufersicherung ostseeseitig (BT7) und NOK-seitig (BT8) 44

8.2 Hochbau (BT11) 44
8.3 Leitwerke (BT12) 44
8.4 Wege und Flächen (BT13) 44
8.5 Ver- und Entsorgungstrassen (BT14) 45
9 Auswirkungen auf die Bauausführung 45
9.1 Baustelleneinrichtungsflächen und Zuwegungen 45
9.2 Bauablauf 45
9.2.1 Bauphase 0 46
9.2.2 Bauphase 1 46
9.2.3 Bauphase 2 46
9.2.4 Bauphase 3 46
9.2.5 Bauphase 4 47
9.2.6 Bauphase 5 47
9.2.7 Bauphase 6 47
9.2.8 Bauphase 7 48
9.2.9 Bauphase 8 48
9.2.10 Bauphase 9 49
9.3 Bauzeit 49
10 Kostenschätzung 50
11 Sonderthemen und Weiterer Untersuchungsbedarf 52
12 Zusammenfassung und Empfehlung 53

1 EINLEITUNG UND VERANLASSUNG

1.1 Veranlassung

Neue Klimaprojektionen zeigen auf, dass bis zum Jahr 2100 global ein deutlich höherer und beschleunigter Anstieg des Meeresspiegels möglich ist als bislang angenommen. Im aktuellen Vermerk des BSH vom 17.03.2017 „Aktuelle Kenntnislage zum Meeresspiegelanstieg“ [16] und dem darauf aufbauenden Vermerk des BMVI, Abteilung WS vom 08.06.2017 [17] wird darauf hingewiesen, dass für die Nordseeküste und die westliche Ostsee ein Meeresspiegelanstieg von 1,70 m bis zum Ende des Jahrhunderts nicht mehr ausgeschlossen ist.

Die Berücksichtigung einer ausreichenden Ausbaureserve für klimabedingte Änderungen soll in Ihren Folgen beim geplanten Ersatzneubau der Kleinen (Alten) Schleuse Kiel Holtenau untersucht und monetär bewertet werden, insbesondere aufgrund der hohen Nutzungsdauer von 100 Jahren und der unmittelbaren Lage in der Küstenlinie.

Die neuen Erkenntnisse sind im Rahmen einer Sensitivitätsbetrachtung zu berücksichtigen. Gemäß Festlegung des BMVI vom 21.07.2017 [18] soll eine Sensitivitätsbetrachtung unter Annahme des Prognosewertes des Meeresspiegelanstieges in 2100 von +1,74 m (95. Perzentil) durchgeführt werden, um evtl. statische Reserven in der jetzigen Planung abschätzen zu können.

Die Sensitivitätsbetrachtung baut auf den Ergebnissen der „Machbarkeitsstudie zur Grundinstandsetzung der Alten Schleuse Kiel Holtenau“ vom Februar 2016 [13] auf. Die Machbarkeitsstudie und der genehmigte Entwurf-HU basieren auf dem Generalplan Küstenschutz von 2012, der einen Meeresspiegelanstieg von +0,50 m zugrunde legt.

Der Anstieg von +1,74 m für 2100 wurde als Ansatz für die Nutzungsdauer der Schleuse gewählt. Eine weitergehende Exploration des Meerwasseranstieges auf das Ende der planmäßigen Nutzungsdauer (ca. Jahr 2126) ist nicht vorgesehen, da es dafür keine belastbaren Anhaltswerte gibt und bei weiteren Steigerungen grundsätzliche, systematische Überlegungen für die Küstenregion getroffen werden müssten.

Hinweis: Die Bezeichnungen „Kleine Schleuse“ und „Alte Schleuse“ werden in diversen Bestandsunterlagen, Gutachten und in der Machbarkeitsstudie parallel verwendet. Beide Begriffe bezeichnen die gleiche Schleuse. Im nachfolgenden Text wird einheitlich die Bezeichnung „Kleine Schleuse“ verwendet.

2 AUFGABENSTELLUNG

Die Sensitivitätsbetrachtung untersucht die Auswirkungen auf die Planung der Machbarkeitsstudie aufgrund der anzusetzenden Prognosewerte für den Meeresspiegelanstieg von +1,74 m im Jahr 2100.

Die bauliche Umsetzung des Ersatzneubaus soll zunächst für die bisher angesetzten Wasserstände (T0) erfolgen. Dabei ist eine Ausbaureserve für den o.g. Prognosewert (T2100) planerisch zu berücksichtigen.

Folgende Themen werden bearbeitet:

- Erneute Untersuchung der im Zuge der Machbarkeitsstudie betrachteten Torvarianten unter geänderten Randbedingungen
- Überarbeitung der bisherigen Planung im Hinblick Konstruktion, Bauabläufe, Mengen und Kosten unter geänderten Randbedingungen
- Überarbeitung der Statik unter Berücksichtigung einer Ausbaureserve für T2100
- Konzeptionelle Planung des Ausbauzustandes T2100
- Konzeptionelle Untersuchung von Notverschlusssystemen für T2100

3 PLANUNGSGRUNDLAGEN FÜR DIE SENSITIVITÄTSBETRACHTUNG

3.1 Allgemeines

Die Änderungen der Planungsgrundlagen betreffen insbesondere die Ostseewasserstände und die Grundwasserstände. Die Planungsrandbedingungen aus der Machbarkeitsstudie vom 29.02.2016 behalten ihre Gültigkeit, sofern nachfolgend keine anderslautenden Festlegungen getroffen werden.

Als Zeitpunkte werden definiert:

- Herstellung des Ersatzneubaus: T0
- Ausbau auf den Prognosewert: T(Ausbau)
- Eintritt des Prognosewertes: T2100

3.2 Wasserstände

Die anzusetzenden Wasserstände für die Zeitpunkte T0 und T2100 wurden vom WSA Kiel-Holtenau wie folgt festgelegt.

- Ausgehend von einem mittleren Wasserstand (MW) der Ostsee im Jahr 2017 von NHN +0,04 m und einem Meeresspiegelanstieg von +1,74 m ergibt sich für T2100 ein MW von NHN +1,78 m.

- Es wird davon ausgegangen, dass sich mit dem Meeresspiegelanstieg auch die Schwankungsbreite um den mittleren Wasserstand MW vergrößert. Die Schwankungsbreite für die Betriebswasserstände soll daher für T2100 auf ±1,70 m erhöht werden.
- In der Schleusenkammer sind beim Schleusenbetrieb sowohl die Wasserstände des NOK als auch der Kieler Förde/ Ostsee zu berücksichtigen.
- Der Ansatz von Sunk (0,80 m) entfällt aufgrund der geschützten Lage der Schleuse.
- Eine Korrelation zwischen den NOK- und den Fördewasserständen ist nicht anzusetzen. Der Betrieb soll anhand von absoluten Höhen (NHN) gesteuert werden und nicht anhand von Wasserstandsdifferenzen zwischen NOK und Kieler Förde.

Folgende Wasserstände bezogen auf NHN werden zugrunde gelegt:

	T0	T2100
<u>Nord-Ostsee-Kanal:</u>		
HKW: Höchster Kanalwasserstand	+0,50 m	+0,50 m
NKW: Niedrigster Kanalwasserstand	-0,20 m	-0,20 m
<u>Kieler Förde / Ostsee:</u>		
MW: Mittlerer Wasserstand	+0,04 m	+1,78 m
BHW: Bemessungswasserstand	+3,47 m	+4,60 m
<u>Betriebswasserstände</u>		
BWo: Oberer Betriebswasserstand	+1,70 m	+3,48 m
BWu: Unterer Betriebswasserstand	-1,40 m	+0,08 m

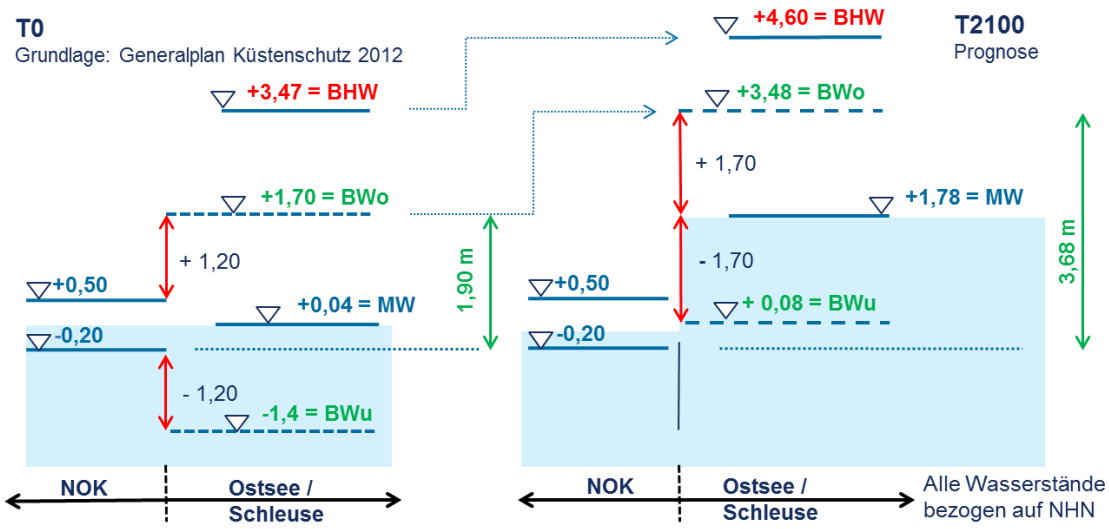


Abbildung 1: Gegenüberstellung Wasserstände T0 und T2100

3.3 Baugrund

Es werden die der Machbarkeitsstudie zugrunde liegenden Bemessungsprofile weiter verwendet. Die von der BAW in [8] angegebenen Bemessungsprofile umfassen die bestehende Schleuse zuzüglich eines Korridors von 50 m NOK-seitig bzw. fördeseitig der Schleuse. Damit sind auch mögliche Bauwerksverlängerungen durch die vorhandenen Angaben abgedeckt. Für Geländeaufhöhungen zum Zeitpunkt T(Ausbau) werden die oberflächennahen Sandschichten und Auffüllungen angesetzt.

3.4 Grundwasser

Analog zum Ansatz T0 wird für T2100 der Bemessungswasserstand für das Grundwasser auf den oberen Betriebswasserstand begrenzt, d.h. auf NHN + 3,48 m. Im außergewöhnlichen Fall kann sich bei Ausfall eines Außentores und gleichzeitiger Sturmflut auf der unmittelbar überfluteten Fläche ein Stauwasserstand bis zum BHW, d.h. NHN +4,60 m einstellen.

Der mittlere Grundwasserstand für T2100 wird sich voraussichtlich zwischen dem NOK-Wasserstand (ca. NHN ± 0,00 m) und dem mittleren Fördewasserstand (NHN +1,78 m) einpegeln und ist durch den Baugrundgutachter im Zuge der weiteren Planungen festzulegen. Für die statischen Berechnungen ist der mittlere Grundwasserstand nicht relevant.

Der untere Grundwasserstand wird auf den unteren Wasserstand im NOK bei NHN -0,20 m angesetzt.

3.5 Bemessungsgrundlagen

Die Bemessungsgrundlagen für T2100 sind im Lastenheft „MSA2100, Rev 0.0“ vom 13.09.2017 angegeben.

3.6 Schiffsverkehr, Schiffsabmessungen

Die Planungsrandbedingungen aus der Machbarkeitsstudie vom 29.02.2016 bleiben unverändert bestehen.

Eine durch den Meeresspiegelanstieg vergrößerte Wassertiefe in der Förde erhöht nicht die Nutztiefe der Schleuse, da diese von der unveränderten Wassertiefe im NOK bestimmt wird.

3.7 Vorgaben aus der Nautik

Eine Verschiebung des Binnenhauptes Richtung NOK (Binnen) wurde in der Machbarkeitsstudie nicht zugelassen. Grund dafür war, dass der NOK-seitige Zufahrtsbereich bei perspektivischer Betrachtung einer zusätzlichen Schleusenkammer auf der Mittelinsel zu stark eingeengt worden wäre. Gemäß WSA Kiel-Holtenau ist zwischenzeitlich die Gesamtkonzeption der Schleusenanlage insoweit festgelegt worden, dass eine zusätzliche Schleusenkammer nicht mehr betrachtet werden muss. Damit besteht nunmehr die Möglichkeit, das Binnenhaupt geringfügig, d.h. bis zu 30-40 m in Richtung NOK zu verschieben.

Alle weiteren Planungsrandbedingungen bleiben bestehen.

3.8 Anforderungen an die Wegeplanung

Die Planungsrandbedingungen aus der Machbarkeitsstudie vom 29.02.2016 bleiben unverändert bestehen.

3.9 Hochwasserschutz

Für T2100 wird ein Bemessungswasserstand (BHW) von NHN +4,60 m zugrunde gelegt (vgl. Kap. 3.2).

Als Ausbaureserve wurde eine Stauwandhöhe von NHN +5,10 m festgelegt, d.h. 50 cm oberhalb von BHW. Zusätzlich zum BHW ist das Tor mit der Welle (+1,15 m zzgl. 10% Zuschlag) zu beaufschlagen. Der Wellenüberlauf wird aufgrund des Retentionsraumes im NOK in Kauf genommen.

Entsprechend dem bisherigen Ansatz wird die Planie der Häupter 75 cm oberhalb der Stauwand angeordnet, d.h. bei NHN +5,85 m.

3.10 Betriebliche Planungsanforderungen

Auch für den Ausbauzustand T2100 ist vorgesehen, dass Sportboote ausschließlich an den Seitenwänden festmachen dürfen und die Mittelwand den größeren Schiffen

der Berufsschifffahrt vorbehalten bleibt. Die Planiehöhe auf der Seitenmauer wird analog T0 auf ca. 2,80 m oberhalb des mittleren Wasserstandes (MW) abgesenkt, d.h. für T2100 auf NHN +4,60 m.

Für die Anordnung der Nutzlängenmarkierung bleibt der Sicherheitsabstand zwischen Schiff und Torkonstruktion von 10 m bestehen.

3.11 Schleusungszeiten

Für T0 sind keine Änderungen der Schleusungszeiten zu erwarten.

Für T2100 werden sich die Befüll- und Entleerungszeiten durch die regelmäßig höher auftretenden Differenzwasserspiegel zwischen Kieler Förde und NOK verlängern. Inwieweit dies zu einer Verlängerung der Schleusenzeiten führt, ist im Zuge der weiteren Planungen zu untersuchen.

3.12 Weitere Planungsrandbedingungen

3.12.1 Nutzabmessungen

Die im genehmigten Entwurf-HU [15] angegebenen Abmessungen, d.h. nutzbare Breite von 22,50 m und nutzbare Länge von 155 m werden für die Sensitivitätsbetrachtung weiterhin zugrunde gelegt.

3.12.2 Überflutungsschutz

Aktuell sind die Wasserspiegelunterschiede zwischen Kieler Förde und NOK gering. Mit Ausnahme von Extremereignissen schwanken die Wasserspiegel in der Regel im niedrigen Dezimeterbereich.

Bei Ansatz von T2100 steht fördeseitig permanent ein höherer Wasserstand als im NOK an. Der Überstau beträgt schon bei mittleren Wasserständen ca. 1,80 m. Große Leckagen im Torsystem der Schleuse, z.B. aufgrund von Schiffsanfahrungen, können zu unkontrollierbaren Überflutungen des NOK und der angrenzenden Niederungen führen. Daher sind entsprechende Notfallpläne und Maßnahmen vorzusehen, um Überflutungen zu verhindern.

3.12.3 Befüllung/ Entleerung

Bei einfachen Stemmtorpaaren mit Füll- und Entleerungsöffnungen (keine Umläufe), sind Wasserspiegelunterschiede in inverser Richtung beim Befüllen/ Entleeren zu vermeiden. Eine Befüllung/ Entleerung mittels Umlaufkanälen ist nicht gewünscht, da Kavernen im Massivbau vermieden werden sollen.

3.12.4 Revision

Das Lenzen einer Kammer (Revision) muss immer möglich sein und wird daher ohne Einschränkungen durch äußere Wasserstände betrachtet.

4 VARIANTENUNTERSUCHUNGEN

4.1 Variantenuntersuchung Torkonstruktion

In der folgenden Variantenuntersuchung zur Torkonstruktion, welche an die Untersuchungen der bisherigen Machbarkeitsstudie anknüpft, werden die Auswirkungen auf die Planung der Machbarkeitsstudie aufgrund der geänderten Randbedingungen/ Bemessungsgrundlagen aus der Prognose für den Meereswasserspiegelanstieg betrachtet.

Es werden die im Zuge der Machbarkeitsstudie betrachteten Torvarianten einer erneuten Untersuchung und Bewertung unter den geänderten Randbedingungen/ Bemessungsgrundlagen unterzogen und daraus eine Zielvariante für die Schleusentore ermittelt.

Für die durchzuführende Variantenuntersuchung wurden folgende Grundlagen definiert:

- Die Untersuchungen zur Planung des Ersatzneubaus erfolgen auf Grundlage einer Ausbaureserve für das Szenario Meeresspiegelanstieg „MSA 2100“.
- Die bauliche Umsetzung der Tore (T0) soll zunächst in Anlehnung an den Generalplan Küstenschutz 2012 bis maximal OK jetzige Planie (NHN +4,30m) erfolgen. Ein Aufstocken (Erhöhung der Tore) erfolgt dann erst bei Eintritt von T(Ausbau).
- Die bisherigen Nutzabmessungen der Schleuse sollen beibehalten werden.
- Für den Havariefall "Schließen der Schleuse gegen Strömung" wird eine separate Untersuchung zu Notverschlusssystemen durchgeführt. Die Tore müssen bei Vorhaltung eines Notverschlusssystems dafür nicht ausgelegt werden.
- Die weiteren im Rahmen der Machbarkeitsstudie definierten Planungsgrundsätze haben weiterhin Bestand.

In Anlehnung an die Variantenuntersuchung der Machbarkeitsstudie werden folgende Torvarianten einer erneuten Betrachtung unter den geänderten Randbedingungen/ Bemessungsgrundlagen unterzogen:

- **Variante 1 - Untersuchung der Eignung der inversen Stemmtore für die erhöhten Lasten (T2100)**
- **Variante 2 - Untersuchung der Kombination von doppelkehrenden Stemmtoren mit einem inversen Stemmtor**
- **Variante 3 - Doppelkehrende Stemmtore gemäß Tor Variante 1 der Machbarkeitsstudie**
- **Variante 4 - Prüfung der alternativen Tortypen „Sektor-Tore mit vertikaler Achse“ und „Drehsegmente mit horizontaler Achse“**

Weiterführend zur Variantenuntersuchung der Machbarkeitsstudie wird mit Variante 2 eine Kombination von doppelkehrendem und inversem Stemmtor aufgrund möglicher Vorteile hinsichtlich des Abtrages der Lasten aus den erhöhten Wasserständen mit aufgenommen. Beim Tortyp der Drehsegmente wird das Drehsegment mit horizontaler Achse aufgrund dessen Vorteile beim Bewegen gegen Überstau noch einmal tiefergehend untersucht.

Der im Zuge der Machbarkeitsstudie untersuchte Tortyp „Klapptor“ wird aufgrund der seinerzeit ermittelten bedeutenden Nachteile (hohe Torlasten, Verschlussgröße und Hublängen) nicht mehr weitergehend betrachtet.

Variante 1 – Inverses Stemmtor

Das inverse Stemmtor stellt eine Weiterentwicklung des einfach kehrenden Stemmtores dar. Invers bedeutet in diesem Kontext, dass das „Stemmtor“ auch Lasten aus dem Wasserdruck entgegen der „Stemmrichtung“ abtragen kann. Bei sehr geringen Torbelastungen von der inversen Richtung können die Lasten über die Antriebszylinder (welche das Tor in Staustellung gedrückt halten) und die Hals- und Spurlager des Tores abgetragen werden. Als ausgeführtes Beispiel hierfür sind die inversen Stemmtore der Schleuse Ijmuiden zu nennen. Um größere Torbelastungen von der inversen Richtung abzutragen, wurde dieser Tortyp im Zuge der Planung zur Machbarkeitsstudie als „Dreigelenkbogen“ konzipiert. Hierfür wurden die Torlager an den Wendesäulen als „Drehlager“ und die Torlager an der Schlagsäule als Bolzenverriegelung ausgebildet. Es handelt sich bei dieser Lösung um eine Neuentwicklung, welche in dieser Form noch nicht gebaut wurde.

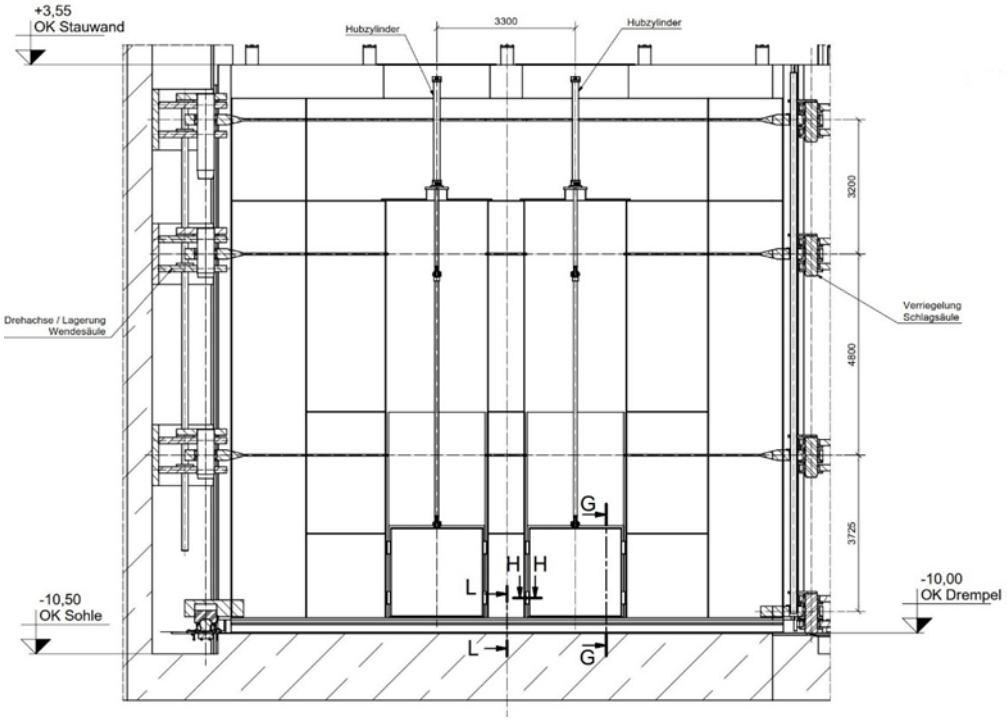


Abbildung 2: Verschlussvariante „Inverses Stemmtor“

Inverse Stemmtore sind für geringe Wasserstandsunterschiede konzipiert und weisen unter diesen Randbedingungen ihre besonderen Vorteile auf. Entscheidend bei Wahl des inversen Stemmtores als Vorzugslösung für die Schleusenverschlüsse im Zuge der Machbarkeitsstudie waren die damals zugrunde gelegten, moderaten Wasserstandsunterschiede. Weitere Kriterien waren Verringerung der Anzahl von Bauteilen, Antrieben sowie die Erhöhung der Nutzlänge bei gleichen Schleusenabmessungen.

Unter den Randbedingungen dieser Sensitivitätsanalyse haben sich die auf das Tor wirkenden Wasserstandsunterschiede signifikant erhöht. Für den statischen Bemessungsfall der Tore (Schleuse außer Betrieb) hat sich die maximale Wasserstandsdifferenz und daraus folgend die maßgebende Bemessungslast um ca. 62 % im Vergleich zu den Werten der Machbarkeitsstudie erhöht. Hinsichtlich des ermüdungsrelevanten Bemessungsfalls (Schleuse in Betrieb) beträgt die Erhöhung der maximalen Wasserstandsdifferenz bzw. der maximalen Bemessungslast ca. 307 %.

Im Zuge einer statisch-konstruktiven Betrachtung wurden die Auswirkungen auf die Konstruktion des inversen Stemmtores aufgrund der geänderten Bemessungswasserstände untersucht:

Die höheren Bemessungslasten führen an der Torkonstruktion zu lokalen Spannungsüberschreitungen, welche jedoch durch konstruktive Anpassungen/ lokale Verstärkungen technisch lösbar sind.

Weiterhin ergibt sich aus den geänderten Bemessungslasten eine maßgebliche Erhöhung der Lager- und Verriegelungskräfte. Eine Vergrößerung der lastabtragenden Baugruppen der Torlager und Verriegelung ist jedoch aufgrund der geometrischen Randbedingungen entsprechend begrenzt.

Ein weiterer Effekt auf die Torkonstruktion ist eine deutliche Erhöhung der Torverformung im unteren Torbereich. Diese wirkt sich ungünstig auf die Funktionalität- und Gebrauchstauglichkeit des Tores aus und kann ggf. zu Zwängungen führen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass das inverse Torsystem (insbesondere die lastabtragenden Bereiche der Lager und Verriegelung) unter den geänderten Randbedingungen (Bemessungswasserstände) im Grenzbereich der technischen Realisierbarkeit liegt.

Variante 2 – Kombination von doppelkehrenden Stemmtoren mit einem Inversen Stemmtor

Um die möglichen Vorteile einer Kombination von doppelkehrenden Stemmtoren mit einem inversen Stemmtor zu erörtern, werden zunächst die möglichen Lastsituationen betrachtet.

Max. Torbelastung aus Richtung „NOK“

Schleuse außer Betrieb:

Max Δ (NOK +0,5m / Förde -2,29m) = 2,79m

Schleuse in Betrieb:

Max Δ (NOK +0,5m / Förde +0,08m) = 0,42m

Max. Torbelastung aus Richtung „Förde“

Schleuse außer Betrieb:

Max Δ (NOK –0,2m / Förde +4,6m) = 4,8m

Schleuse in Betrieb:

Max Δ (NOK –0,2m / Förde +3,48m) = 3,68m

Hinsichtlich der möglichen Torkombinationen wären folgenden Varianten denkbar:

Variante A)

Doppelkehrendes Stemmtor im Außenhaupt

Inverses Stemmtor im Binnenhaupt, Stemmrichtung „NOK“

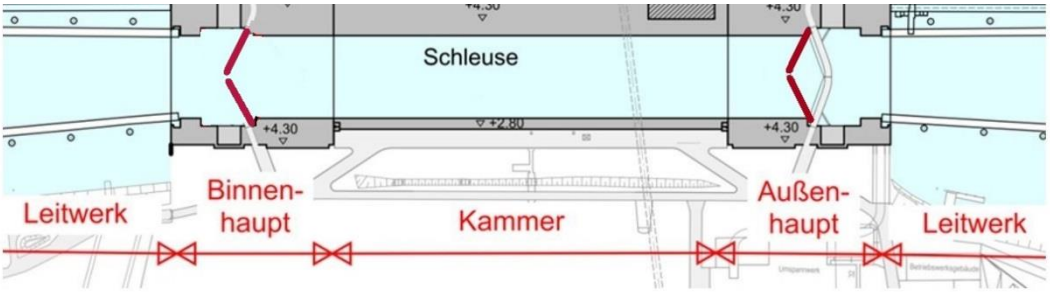


Abbildung 3: Verschlussvariante „ 2 A)“

Im Lastfall „Schleuse außer Betrieb“ (alle Tore geschlossen) hat das Stemmtor im Außenhaupt die maximale Last (4,8 m/ Förde) abzutragen. Bei Ausfall des Stemmtores im Außenhaupt kann das inverse Stemmtor im Binnenhaupt die Lasten nicht mehr aufnehmen. Eine 2. Sicherungslinie ist somit nicht gegeben.

Im Lastfall „Schleuse in Betrieb“ hat das inverse Stemmtor im Binnenhaupt die maximale Last (3,68 m/Förde) abzutragen. Die maßgebende Last für das inverse Stemmtor liegt ca. 307 % (Statisch + Ermüdung: ∆3,68m / ∆1,2m) über dem Lastansatz der Machbarkeitsstudie.

Zusammenfassend lässt sich für diese Variante festhalten, dass mit der aufgezeigten Torkombination gegenüber Variante 1 nur eine geringfügige Minimierung der auf das inverse Stemmtor wirkenden Lasten erreicht werden kann.

Variante B)

Inverses Stemmtor im Außenhaupt, Stemmrichtung „Förde“

Doppelkehrendes Stemmtor im Binnenhaupt

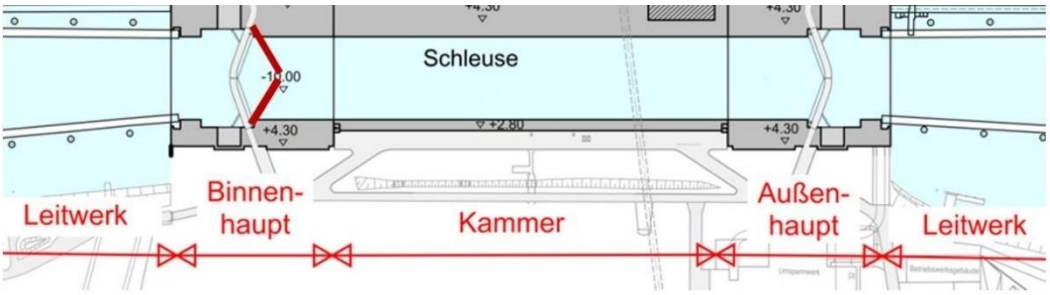


Abbildung 4: Verschlussvariante „ 2 B)“

Im Lastfall „Schleuse außer Betrieb“ (alle Tore geschlossen) hat das inverse Stemmtor im Außenhaupt die maximale Last (4,8 m/ Förde) abzutragen.

Entsprechend den Ergebnissen zur Untersuchung der Variante 1 ist der Tortyp unter den gegebenen Randbedingungen im Grenzbereich der technischen Realisierbarkeit.

Variante C)

Doppelkehrendes Stemmtor im Außenhaupt

Inverses Stemmtor im Binnenhaupt, Stemmrichtung „Förde“

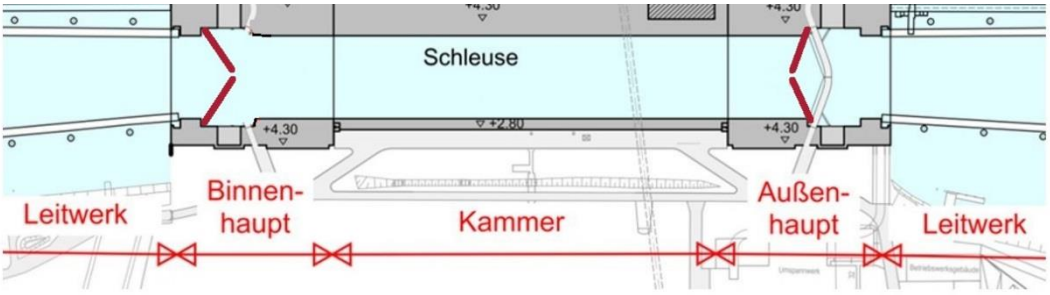


Abbildung 5: Verschlussvariante „ 2 C)“

Mit dieser Anordnungsvariante wäre durch das inverse Stemmtor im Binnenhaupt eine 2. Sicherungslinie bei einem möglichen Ausfall des Außenhaupt-Tores gege-

ben. Jedoch ist der Tortyp analog zur Variante B unter den gegebenen Randbedingungen im Grenzbereich der technischen Realisierbarkeit.

Variante 3 – Doppelkehrende Stemmtore (Machbarkeitsstudie Var. 1)

Das einfach kehrende Stemmtor besteht aus zwei Torflügeln, welche sich bei geschlossenem Tor infolge des Wasserdrucks über die Stemmknaggen an Schlag- und Wendesäule auf den Massivbau abstützen. Die Torflügel stehen in einem Spurlager und werden am oberen Ende von einem Halslager gehalten.

Das einfach kehrende Stemmtor kann einen Überstau nur von einer Torseite (Stemmseite) aufnehmen. Daher sind für die Kleine Schleuse Kiel-Holtenau aufgrund der wechselseitig auftretenden Wasserstandsdifferenzen an jedem Haupt zwei gegensätzlich angeordnete Stemmtorpaare (doppelkehrende Stemmtore) vorzusehen. In Summe sind je Schleusenkammer 4 Stemmtorpaare vorzusehen.

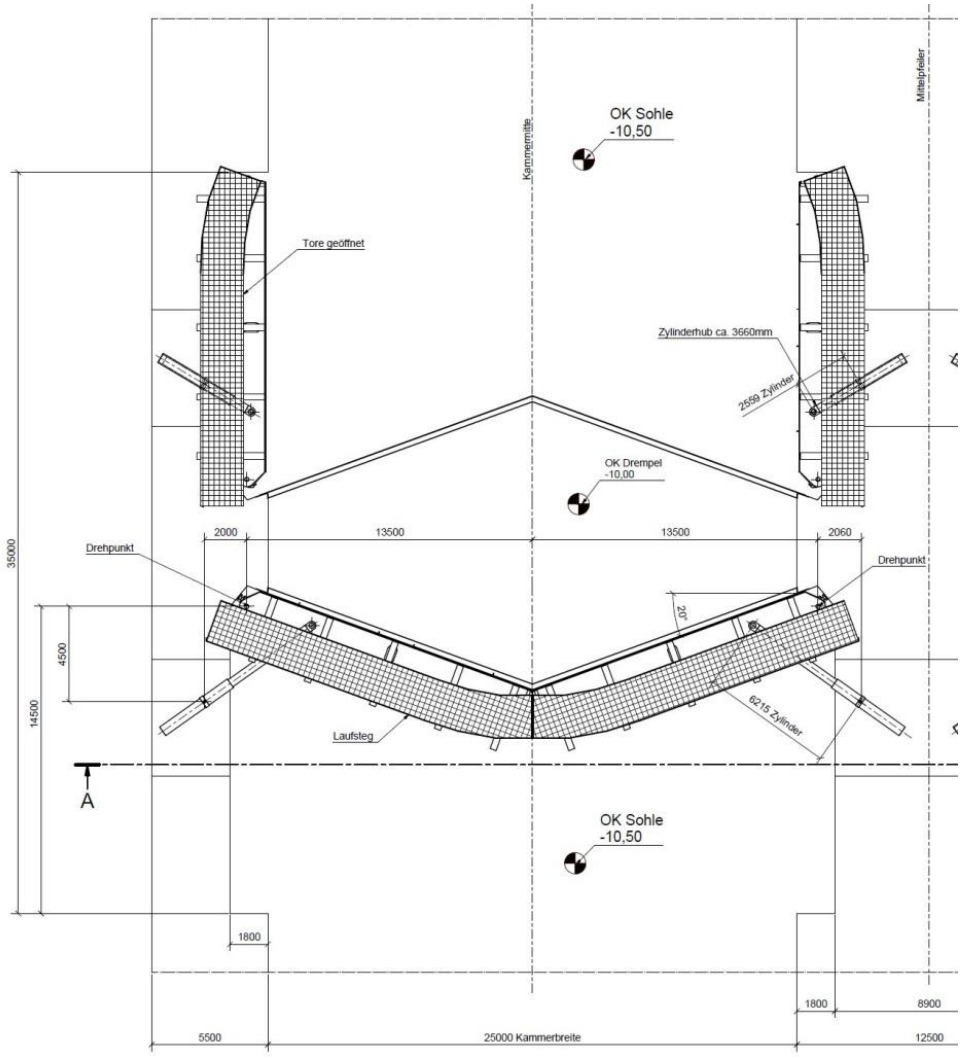


Abbildung 6: Verschlussvariante „Doppelkehrende Stemmtore“

Das doppelkehrende Stemmtor ist eine erprobte und bewährte Verschlussvariante, welche an einer Vielzahl an Seeschleusen bzw. als einfachkehrendes Stemmtor an Binnenschleusen im Einsatz ist. Der Lastabtrag erfolgt mittels robuster Stemmknaggen, welche die Last als Druckkraft in den Massivbau einleiten. Die erhöhten Bemessungslasten aus dem prognostizierten Meeresspiegelanstieg können mittels dieses Tortyps technisch problemlos abgetragen werden. Eine zusätzliche Verriegelung des Tores in der Staustellung ist nicht erforderlich.

Bedingt durch die zwei je Haupt erforderlichen, gegensätzlich angeordneten Stemmtorpaare ist eine größere Anzahl an Verschlüssen, Antrieben und Ausrüstungen sowie ein größerer Platzbedarf in Längsrichtung der Schleusenkammer erforderlich. Aufgrund einer weitestgehenden Gleichartigkeit der Tore und Antriebe wird der Wartungs- und Unterhaltungsaufwand entsprechend begrenzt.

Bei der Befüllung/ Entleerung der Schleusenkammer mittels der Schütze in den Stemmtoren ist das zweite, nicht unter Last stehende Stemmtor am Haupt in die geöffnete Stellung zu bringen, um einen Überstau zwischen den Stemmtorpaaren zu vermeiden. Eine alternative Ausführung der Schleuse mit Umlaufverschlüssen wurde nicht weiter betrachtet. Der Grund hierfür ist der gegebene Planungsgrundsatz, eine Ausbildung von Kavernen im Massivbau zu vermeiden. Dieser begründet sich aus den allgemeinen Anforderungen/ Vorgaben der WSV, auf die Ausbildung von Kavernen weitestmöglich zu verzichten.

Analog zu den Varianten 1 und 2 („B“ und „C“) ist mit dieser Torvariante eine 2. Sicherungslinie an der Schleuse bei Ausfall eines Tores (z.B. durch technischen Defekt) vorhanden.

Weiterhin ist der geplante Ausbau (Erhöhung) der Tore nach einem möglichen Eintritt der prognostizierten Wasserspielgelanstiege entsprechend zu realisieren.

Herstellung des Ersatzneubaus (T0)

Festlegung OK Fahrbahn und Stauwand auf max. Höhenkote +4,30 m

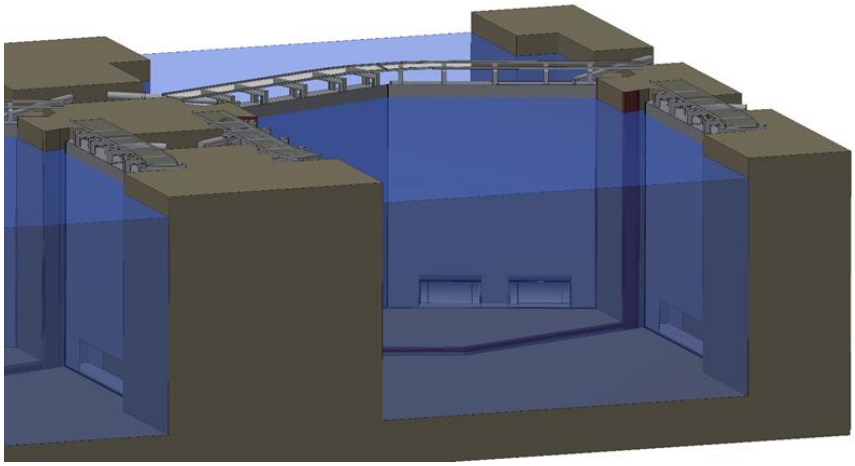


Abbildung 7: Doppelkehrende Stemmtore – Phase Ersatzneubau (T0)

Im Zuge einer späteren Ausbaustufe (T(Ausbau)) nach dem Bau/ der Inbetriebnahme der Kleinen Schleuse wird die Planie im Bereich der Häupter auf das vorgesehene Endmaß (T2100) durch Aufbetonage angehoben. Der Torkörper sowie die Fahrbahn werden durch eine lokale Adaption (Anhebung) auf das vorgesehene Höhenniveau gebracht. Nach der Anhebung liegt die OK Stauwand auf Kote +5,10m. Der Torlaufsteg schließt bündig mit der OK der Planie auf Kote +5,85m ab. Die Einbauteile des Tores werden auf die maximalen Lasten bemessen, sodass deren Austausch im Zuge des Ausbaus nicht erforderlich ist.

Herstellung des Ausbaus (T(Ausbau)

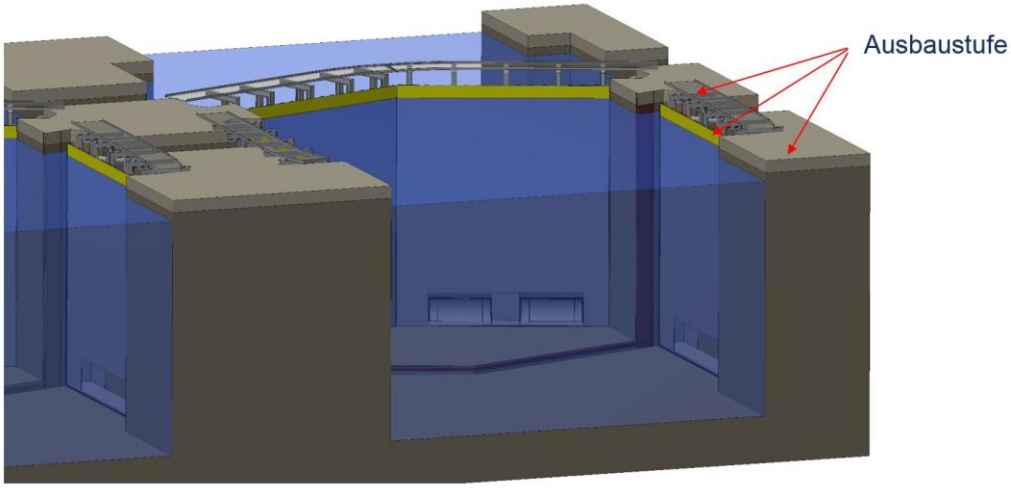


Abbildung 8: Doppelkehrende Stemmtore – Phase Ausbaustufe (T(Ausbau)

Variante 4 – Alternative Tortypen

Drehsegmenttor mit vertikaler Achse

Der Einsatz des Tortyps „Drehsegment mit vertikaler Achse“ wurde bereits im Zuge der Machbarkeitsstudie (vgl. Kapitel 7.2.2.3 des Berichtes zur Machbarkeitsstudie) untersucht. Aufgrund des erforderlichen Platzbedarfes, welcher auf der Mittelmole nicht vorhanden ist, wurde der Einsatz dieses Tortyps für die Kleine Schleuse Kiel-Holtenau ausgeschlossen.

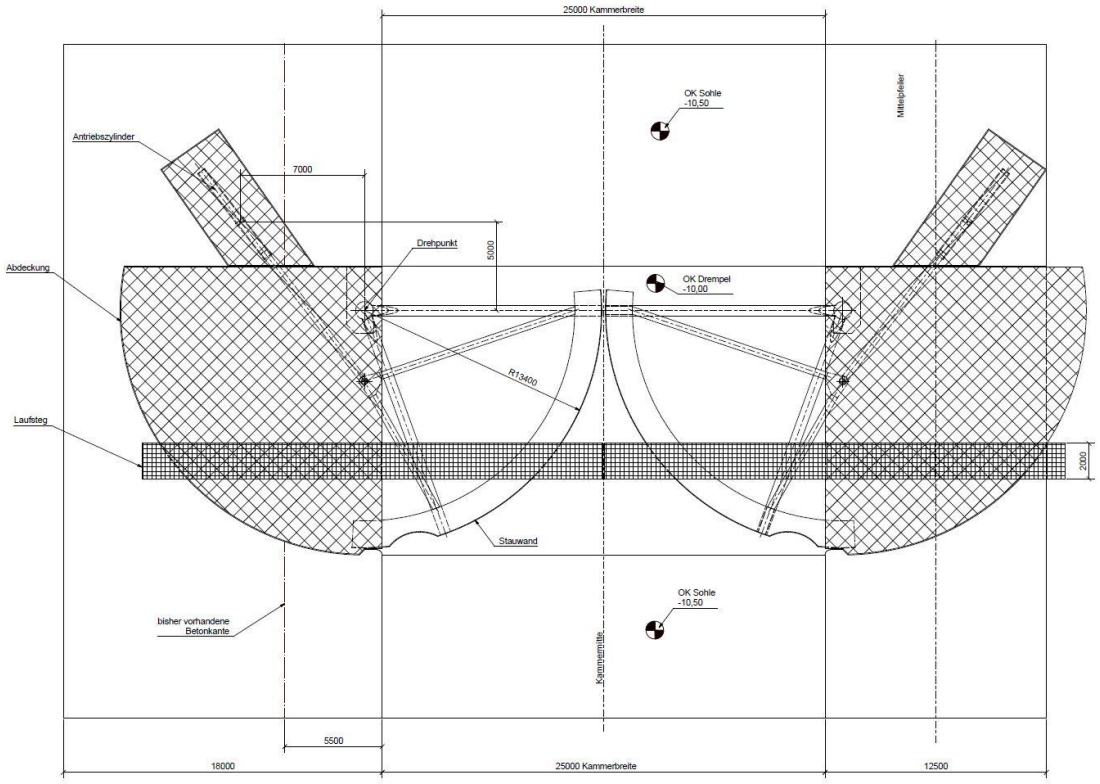


Abbildung 9: Verschlussvariante „Drehsegmenttor mit vertikaler Achse“

Drehsegmenttor mit horizontaler Achse

Das Drehsegmenttor mit horizontaler Achse besteht aus einem Drehsegmentkörper, welcher an den Enden über torsionssteif ausgebildete Stützarme mit den Drehlagern und dem Massivbau verbunden ist.

Die Stahlkonstruktion des Drehsegmentkörpers besteht aus einem kreisförmig gebogenen und ausgesteiften Stauwandblech. Der Verschluss wirkt als Zug- und Drucksegment und kann somit einen Überstau von beiden Torseiten aufnehmen.

Die Befüllung und Entleerung der Schleusenkammer kann bei diesem Verschlusstyp mittels einer im Drehsegmenttor integrierten Füllmuschel oder separaten Umlaufverschlüssen realisiert werden.

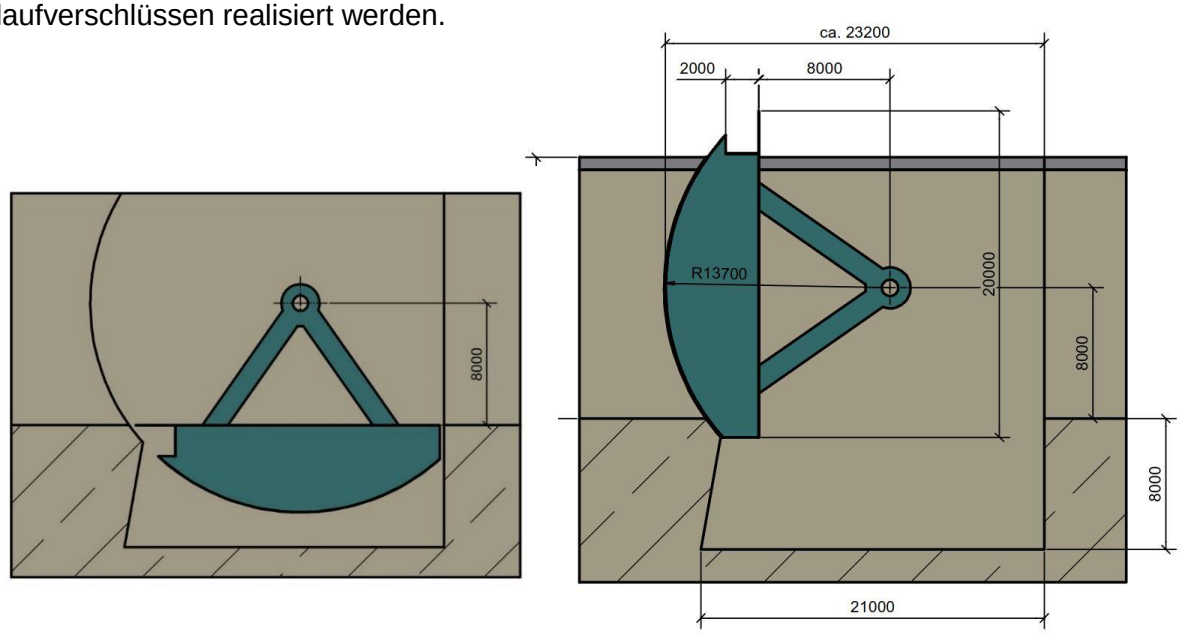


Abbildung 10: Verschlussvariante „Drehsegmenttor mit horizontaler Achse“

Drehsegmente mit horizontaler Achse werden vielfach an Binnenschleusen eingesetzt. Bedingt durch die großen Abmessungen der Kleinen Schleuse Kiel-Holtenau ergibt sich für diesen Tortyp ein Verschluss mit großen Abmessungen (siehe Abb. 7) und daraus resultierend ein hohes Verschlussgewicht (ca. > 200 t). Die aktuell in der Planung befindliche Schleuse „Södertälje“ (Schweden) erhält bei vergleichbarer Kammerbreite ein Drehsegmenttor mit einer deutlich geringeren Verschlusshöhe von ca. 10 m.

Mit den der Machbarkeitsstudie zu Grunde gelegten Hebekapazitäten /Hebemitteln (Schwimmkran „TK10 Wal“, Hublast max. 110 t) ist der erforderliche Verschluss mit den üblichen Montageverfahren (Einhub in Revisionsstellung, Segmentarme nach oben gedreht) nicht einhebbar.

Weiterhin ist aufgrund der Geometrie des Verschlusses ein tiefer Eingriff von ca. 5 m bis 8 m in die Kammersohle erforderlich. Die Absenkung im Bereich der Sohle

birgt zudem die Gefahr der Ablagerung von Geschwemmsel in der Torgrube, welches ggf. zu einer erhöhten Verklemmgefahr führt.

Aufgrund der Torgrube und der damit verbundenen Absenkung der Sohle um ca. 5 m bis 8 m ist eine tiefere Baugrube im Bereich der Häupter erforderlich. Dadurch sind signifikante Zusatzlasten aus Erd- und Wasserdruck zu beachten. Diese werden zu größeren Bauteilabmessungen und Absetztiefen für die Bohrpfahlwände, die Fangedämme, die Rückverankerung der Unterwasserbetonsohle sowie für die Trennspundwand zur Abgrenzung der Kammerbaugrube führen. Für die Baugrube ergeben sich damit zusätzliche Kosten, zusätzliche bauliche Risiken beim Aushub und bei der Herstellung der Gründung (höhere Absetztiefe) sowie zusätzliche Bauzeit.

Aufgrund der gegebenen Randbedingungen, die Ausführung von Kavernen im Massivbau zu vermeiden, wäre der erforderliche beidseitige Antrieb des Tores auf der Planie anzuordnen. Dies hätte eine komplexe Antriebsanordnung mit der Ausführung von zusätzlichen Stahlkonstruktionen auf der Planie zur Folge. Weiterhin würde durch die auf der Planie angeordneten Stahlkonstruktionen der Arbeitsraum (Fahrbahn und Festmachpersonal) weiter eingeschränkt werden.

Die geplante Ausbaustufe (spätere Anpassung, Erhöhung des Tores) ist aufgrund der geometrischen Randbedingungen für diesen Verschlusstyp nicht ohne weiteres realisierbar. Daher wäre der Verschluss bereits im Zuge der Herstellung des Ersatzneubaus (T0) entsprechend der späteren Endgeometrie auszuführen.

Ein weiterer Problempunkt ist die geforderte Überfahrbarkeit des Tores. Eine auf dem Torkörper integrierte Fahrbahn würde mit jeder Torfahrt in das Wasser eintauchen und daraus folgend Ablagerungen von Geschwemmsel, Anhaftungen sowie eine Eisbildung im Winter nach sich ziehen. Alternativ könnte die Überfahrbarkeit mittels einer Klappbrücke oder einer Schiebebrücke (welche über ein Schienensystem auf dem Torkörper geführt wird) realisiert werden, was jedoch mit einem zusätzlichen baulichen und betrieblichen Aufwand sowie mit einem entsprechenden Platzbedarf verbunden wäre.

Aufgrund der umfangreichen erkannten Problemstellungen wird empfohlen, den Einsatz dieser Verschlussvariante nicht weitergehender zu betrachten/ zu verfolgen.

Bewertung der Variantenuntersuchung

Die Bewertung der Torvarianten 1 bis 3 erfolgt auf Grundlage der geänderten Randbedingungen/ Bemessungsgrundlagen der Sensitivitätsanalyse. Dabei wird ein besonderer Schwerpunkt auf die technische Ausführung und der damit verbundenen „technischen Sicherheiten“ gelegt. Die in der Unterlage vorgestellte Variante 4 scheidet aufgrund den gegebenen Randbedingungen bzw. erkannten umfangreichen Problemstellungen aus und wird nicht weiter betrachtet.

Die folgende Bewertungsmatrix ist als Bestätigung/ Untermauerung der generellen Empfehlung zu betrachten, alleinstehend jedoch hinsichtlich der Empfehlung nicht entscheidend.

Projekt: Sensitivitätsanalyse "Alte Schleuse Kiel-Holtenau" **Datum: 13.10.2017**

Anforderungskriterien			Variante 1		Variante 2		Variante 3	
			Inverses Stemmtor		Inverses Stemmtor / Doppelkehrendes		Doppelkehrendes Stemmtor	
			Bewertung		Bewertung		Bewertung	
	Kriterien	Gewichtungsfaktor	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte
	Anforderungen an den Massivbau/Bestand							
1.1	Platzbedarf	2	4	**8**	3	**6**	2	**4**
1.2	Lastabtrag in den Massivbau	2	2	**4**	2	**4**	4	**8**
	Summe Subkriterien			**12**		**10**		**12**
	Kriterien	Gewichtungsfaktor	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte
	Technische Ausführung/Randbedingungen							
2.1	Bewährtes / Erprobtes System	3	1	**3**	1	**3**	4	**12**
2.2	Sicherheit zur technischen Ausführung / Zu erwartende Risiken	3	1	**3**	1	**3**	4	**12**
2.3	Umsetzung von T_{Ausbau} (nachträgliche Torerhöhung)	3	1	**3**	1	**3**	3	**9**
2.4	Anforderungen an die Herstellung / Fertigung	3	1	**3**	1	**3**	4	**12**
2.5	Anforderungen an die Montage	3	1	**3**	1	**3**	4	**12**
2.6	Schadensszenario Torausfall / 2. Sicherungslinie	3	0	**0**	0	**0**	4	**12**
	Summe Subkriterien			**15**		**15**		**69**
	Kriterien	Gewichtungsfaktor	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte
	Betrieb und Unterhaltung							
3.1	Betriebssicherheit / Ausfallsicherheit	3	2	**6**	2	**6**	4	**12**
3.2	Wartungs- und Unterhaltungsaufwand	3	2	**6**	1	**3**	3	**9**
3.4	Torein- und Ausbau	3	2	**6**	3	**9**	4	**12**
	Summe Subkriterien			**18**		**18**		**21**
	Kriterien	Gewichtungsfaktor	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte
	Wirtschaftlichkeit							
4.1	Investitionskosten	1	4	**4**	2	**2**	1	**1**
4.2	Betriebskosten	1	3	**3**	1	**1**	2	**2**
4.3	Unterhaltungskosten	1	2	**2**	1	**1**	3	**3**
	Summe Subkriterien			**9**		**4**		**6**
Gesamtsumme der Punktwerte			**54**		**47**		**108**	

Bewertungspunkte:		**Gewichtungsfaktor:**	
Kriterium wird nicht erfüllt	0	Hohe Gewichtung	3
Kriterium wird in geringem Umfang erfüllt	1	Mittlere Gewichtung	2
Kriterium wird in mittlerem Umfang erfüllt	2	Geringe Gewichtung	1
Kriterium wird in gut erfüllt	3		
Kriterium wird außerordentlich gut erfüllt	4		

Zusammenfassung und Empfehlung Zielvariante

Unter den gegebenen Randbedingungen/ Bemessungsvorgaben der Machbarkeitsstudie wurde das inverse Stemmtor als Zielvariante ermittelt. Die seinerzeit geltenden Randbedingungen entsprachen den Anforderungen dieses Tortyps, dessen Einsatzzweck und besondere Vorteile auf geringen Wasserstandsunterschieden beruhen.

Unter den geänderten Randbedingungen dieser Sensitivitätsanalyse haben sich die auf das Tor wirkenden Wasserstandsunterschiede signifikant erhöht. Der Tortyp des inversen Stemmtores befindet sich unter diesen geänderten Bedingungen im Grenzbereich der Realisierbarkeit. Die Anforderungen an die Schleusenverschlüsse hinsichtlich der technischen Ausführung/ Sicherheiten und der baulichen Umsetzung werden durch diesen Tortyp nicht mehr hinreichend gewährleistet. Daher können die betrachteten Varianten 1 und 2 unter den geänderten Randbedingungen nicht mehr empfohlen werden.

Es wird daher empfohlen, die doppelkehrenden Stemmtore als Zielvariante für die Grundinstandsetzung der Kleinen Schleuse Kiel-Holtenau zu setzen und weitergehend zu betrachten.

4.2 Variantenuntersuchung Notverschlusssystem (Havarie)

Im Rahmen des Schleusenbetriebes ist die Havarie eines Schiffes nicht auszuschließen. Bei einer möglichen Kollision des Schiffes mit dem Schleusentor kann es gegebenenfalls infolge des Torschadens zu einer großen Leckage und damit verbunden zu einer Durchströmung der Schleusenkammer kommen. Bei T0 wird dieser Zustand dann kritisch, wenn bei Ausfall eines Tores gleichzeitig ein außergewöhnlich hoher Fördewasserstand ansteht, der zu einer Überlastung des NOK's führen kann, d.h. größer als HKW +0,50m. Beim Szenario T=2100 steht fördeseitig permanent ein höherer Wasserstand an (MW +1,78 m), vor dem der NOK und die angrenzenden Niederungen geschützt werden müssen.

Daher ist für diesen außergewöhnlichen Betriebsfall ein Notfallplan erforderlich, um die Schleusenkammer unter Durchströmung verschließen zu können.

In der nachfolgenden Variantenuntersuchung werden folgende Lösungsmöglichkeiten weitergehend betrachtet:

- **Variante 1 - Anordnung von separaten Nottoren (z.B. „verschließbarer Rechen“)**
- **Variante 2 - Konzept „Notverschlussponton“**
- **Variante 3 - Anordnung von Rolldammbalken**

Variante 1 – Anordnung „separater Nottore“

Eine mögliche Lösungsvariante zum Verschluss der (durchströmten) Schleusenkammer im Havariefall stellt die Anordnung von separaten Nottoren dar. Das Nottor besteht aus zwei Torflügeln und funktioniert nach dem Prinzip des Stemmtores. Die hydraulisch „offenen“ Querschnitte der Torflügel ermöglichen ein Schließen des Tores gegen die Strömung. Im Anschluss werden die offenen Querschnitte durch Einzelelemente verschlossenen.

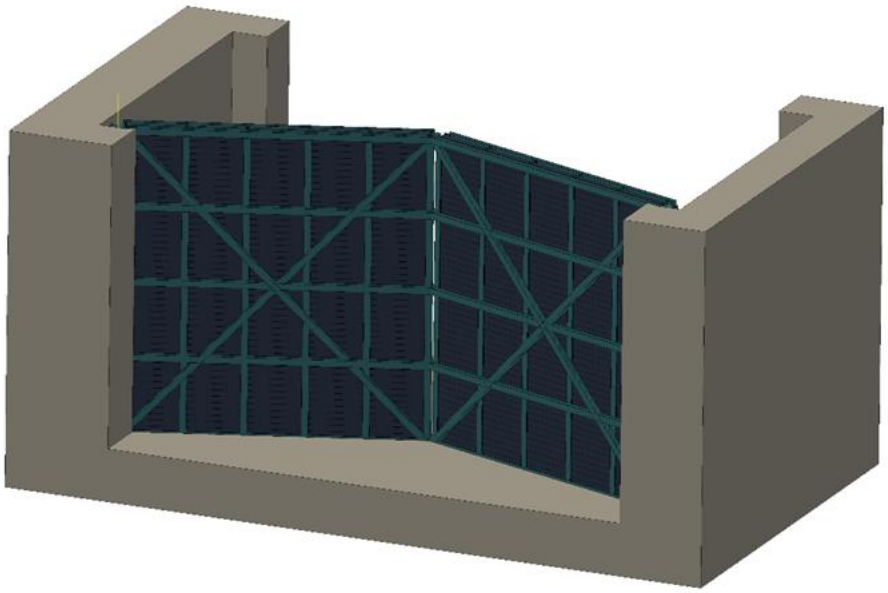


Abbildung 11: Prinzipskizze „Nottor“

Es handelt sich bei dieser beschriebenen Lösungsvariante um eine komplexe Torkonstruktion. Für den Verschluss des Querschnittes ist eine Vielzahl von Einzelelementen in die Torkonstruktion einzubringen.

Der Einsatz des Tortyps würde aufgrund des großen Platzbedarfes des Nottores eine Verlängerung der Binnen- und Außenhäupter erfordern. Eine Anordnung innerhalb der Schleusenkammer ist aufgrund der dort vorgesehenen Schwimmfender nicht möglich. Für das Schließen der Torfflügel ist eine entsprechende Antriebstechnik vorzusehen.

Variante 2 – Notverschlussponton

Eine weitere Lösungsvariante stellt der Einsatz eines einschwimmbaren Pontons zum Verschluss der Schleusenkammer dar. Hierzu wird ein strömungsgünstig ausgebildeter Schwimmponton mit Unterstützung von Schleppschiffen und der Strömung an den dafür vorgesehenen Anschlägen des Hauptes platziert und im Anschluss zum weiteren Verschluss der Kammer abgesenkt (geflutet). Aufgrund der möglichen, hohen Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich der Vorhäfen/ Häupter ist eine Unterstützung durch Schleppschiffe nur mit entsprechendem Abstand (Anbindung mittels Leinen) möglich.

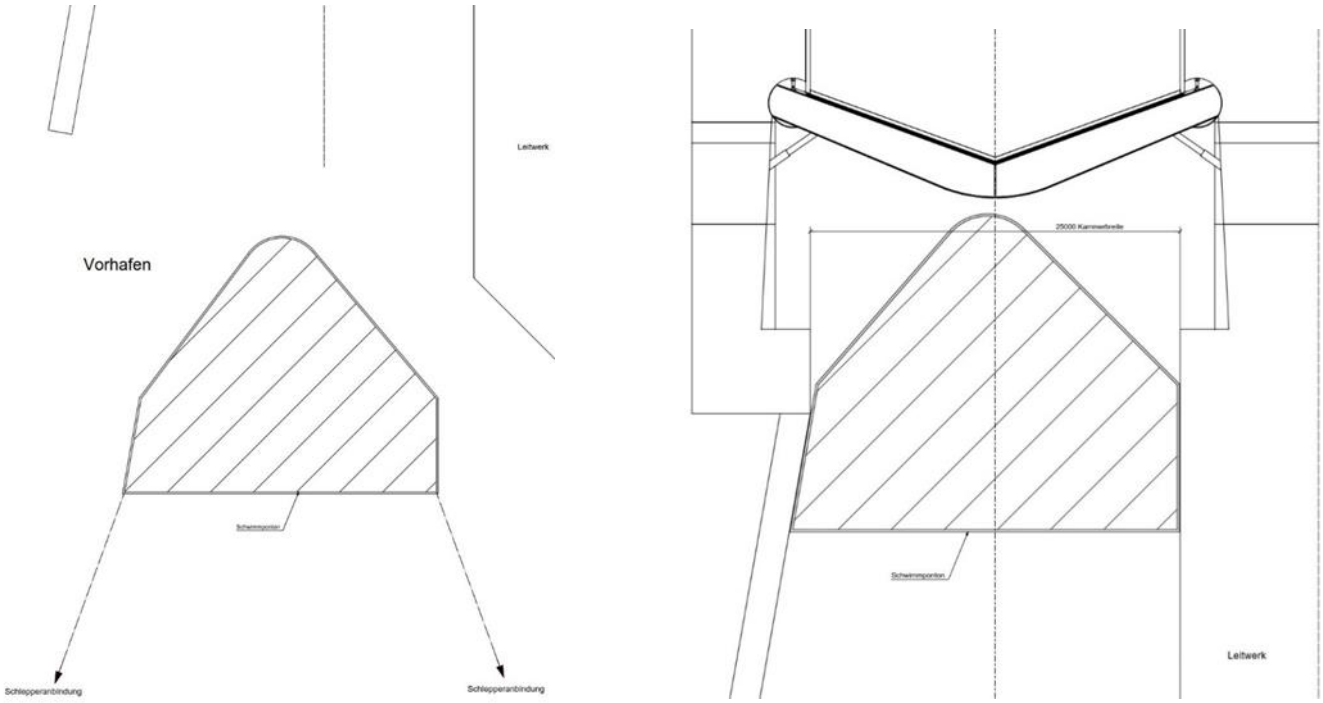


Abbildung 12: Prinzipskizze „Notverschlussponton“

Im Hinblick auf eine Realisierung dieser Lösungsvariante sind aufgrund der komplexen strömungstechnischen Situation weitergehende (strömungshydraulische) Untersuchungen erforderlich. Mögliche Ausführungsrisiken beim Platzieren des Pontons können nicht ausgeschlossen werden.

Variante 3 – Anordnung von „Rolldammbalken“

Als dritte Lösungsvariante wird der Einsatz von Rolldammbalken betrachtet. Zur Minimierung der Reibung sind die einzelnen Dammbalkenelemente mit Rollen ausgestattet, sodass ein Setzen der Revisionsverschlusselemente mittels Eigengewicht unter Strömung möglich ist. Im Massivbau sind beidseitig der Kammer entsprechende Nischen zur Führung der Notverschlusselemente sowie für den Lastabtrag vorzusehen.

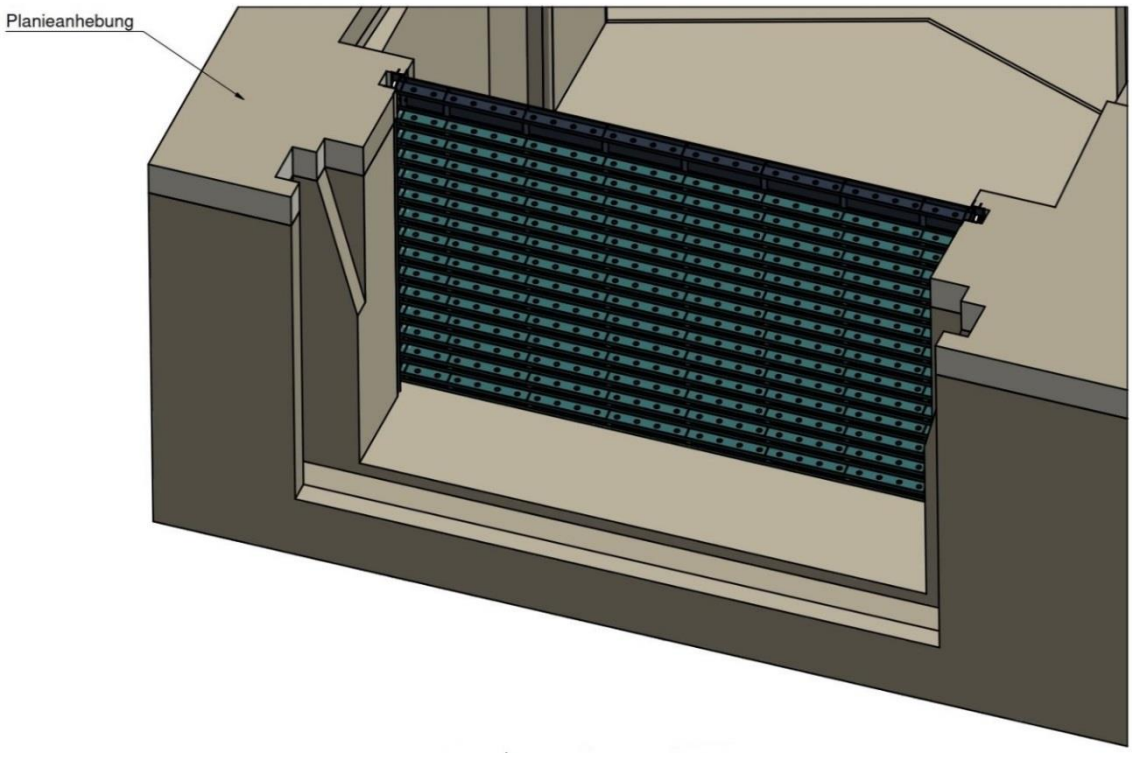


Abbildung 13: Prinzipskizze „Rolldammbalken“

Es handelt sich bei dieser Lösungsvariante um ein robustes, im Stahlwasserbau bewährtes System. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten an der Schleuse Kiel-Holtenau ist ein Setzen der Notverschlusselemente mittels Autokran in der Südkammer nicht möglich. Die südliche Schleuseninsel (Mittelinsel) ist für einen Autokran nur per Fähre erreichbar, deren Verfügbarkeit im Notfall jedoch nicht sichergestellt werden kann. Für ein mögliches Setzen der Verschlusselemente von der Nordseite aus ist die Ausladung der am Markt verfügbaren Autokrane nicht ausreichend. In Kap. 6.3 wird daher ein alternatives Ein-und Ausbaukonzept mittels Einschubkonstruktion für das Notverschlusssystem betrachtet.

Zusammenfassung und Empfehlung Zielvariante

Als Ergebnis der durchgeführten Variantenuntersuchung wurde die Notverschlussvariante „Rolldammbalken“ als Zielvariante unter den Randbedingungen der Schleuse Kiel-Holtenau ermittelt. Es handelt sich bei dieser Lösung um ein robustes, bewährtes System im Stahlwasserbau. Für den Massivbau ist die Variante mit einem geringen Eingriff und einer Hauptverlängerung von ca. einem Meter verbunden. Im Zuge der weiteren Untersuchungen sind die möglichen Ein- und Ausbaukonzepte des Notverschlusssystems noch weiter zu betrachten.

Für die weiteren betrachteten Varianten „Separate Nottore“ und „Notverschlussponton“ wird der Einsatz aus wirtschaftlichen Gründen (Verlängerung der Häupter bei den separaten Nottoren) sowie aus Gründen der Betriebssicherheit und möglichen Ausführungsrisiken nicht empfohlen.

5 AUSWIRKUNGEN AUF DEN MASSIVBAU

5.1 Umsetzung des Ersatzneubaus (T0)

Die Bauweise der Häupter und Kammer als massive Stahlbetonkonstruktion gemäß Vorzugsvariante K5 der Machbarkeitsstudie bleibt unverändert. Eine Ausbaureserve für T2100 wird in der Stahlbetonbemessung berücksichtigt.

Die Gesamtlänge der Schleuse vergrößert sich gegenüber der Vorzugsvariante von 216,9 auf 253,4 m bei Beibehaltung einer Nutzlänge von 155 m. Grund dafür ist die geänderte Torkonstruktion. Die Verlängerung von insgesamt 36,5 m erfolgt in Richtung NOK um 21,5 m und in Richtung Kieler Förde um 15 m. Die Längsachse des Ersatzneubaus (Doppelkammerschleuse) bleibt unverändert.

Häupter

Die Geometrie der Häupter wird durch die Unterbringung der Schleusentore, Maschinentechnik, Leitungsschächte, Dükeranlagen und Revisions- und Notverschlüsse bestimmt.

Da das einfach kehrende Stemmtor nur einen Überstau von einer Torseite (Stemmseite) aufnehmen kann, sind aufgrund der wechselseitig auftretenden Wasserstandsdifferenzen an jedem Haupt zwei gegensätzlich angeordnete Stemmtorpaare (doppelkehrende Stemmtore) vorgesehen. Gegenüber dem inversen Stemmtor ist je Haupt die doppelte Anzahl von Tornischen anzuordnen, so dass die Länge der Häupter angepasst werden muss.

Das Binnenhaupt wird von 49 m auf 53,3 m verlängert. Im Außenhaupt sind zusätzlich Nischen für das Notverschlusssystem mit Rolldammbalken unterzubringen, so dass die angepasste Länge des Außenhauptes 54,3 m beträgt.

Die Planiehöhe (NHN +4,30 m), die Drempeltiefe (NHN -10,00 m) sowie die Wand- und Sohldicken des Stahlbeton-U-Rahmens bleiben unverändert.

Die Halslager und Torzylinder werden in abgesenkten Bereichen auf NHN +3,10 m bzw. NHN +2,50 m angeordnet. Die Gruben werden für den Schleusenbetrieb (u.a. Festmacherpersonal) in Planiehöhe mit überfahrbaren Abdeckungen versehen.

Durch die zusätzlichen Tornischen wird der verfügbare Platz für die Anordnung der Dükerschächte und Maschinenräume eingeschränkt. Die Hydraulikaggregate für die Torantriebe werden in Maschinenräumen nahe der Tore angeordnet. Die Schaltschränke und die Luftsprudelanlage befinden sich in separaten Räumen und werden in Richtung Kammer verschoben. Die Wanddicken, insbesondere zur Kammer hin und zu den tiefliegenden Zugangsschächten der Leitungsdüker, werden robust gewählt.

Alle Räumlichkeiten werden gemäß bisheriger Planung unterflur angeordnet, überfahrbar ausgeführt und über Gänge und Treppen miteinander verbunden. Die Seitenwände der Schleuse werden für die Aufnahme der Maschinenräume geringfügig angepasst. In den Häuptern erfolgt im oberen Bereich eine auskragende Verbreiterung der Wände um 2 m. In der Kammer werden die Maschinenräume landseitig hinter der Kammerseitenwand angeordnet und durch Raumfugen vom Schleusenbauwerk getrennt. Die Anpassungen sind innerhalb der bisherigen, lichten Baugrubenbreite möglich.

Für die Sensitivitätsbetrachtung wird weiter davon ausgegangen, dass eine Raumfuge zwischen den Häuptern und der Kammer angeordnet wird. Diese Annahme liegt hinsichtlich der Statik und Kosten auf der sicheren Seite. Die Fugen wurden ursprünglich zur Aufnahme von Verformungsdifferenzen vorgesehen, insbesondere im Hinblick auf eine optional mögliche, getrennte Lenzbarkeit von Kammer und Häupter. Die Option einer getrennten Lenzbarkeit entfällt jedoch, da in den Häuptern kein Platz mehr für innenliegende Revisionsverschlussnischen zur Verfügung steht. Im Zuge der weiteren Planung sollte geprüft werden, ob auf Raumfugen zwischen Kammer und Häupter verzichtet werden kann und damit Vorteile hinsichtlich Robustheit und Kosten erreicht werden können.

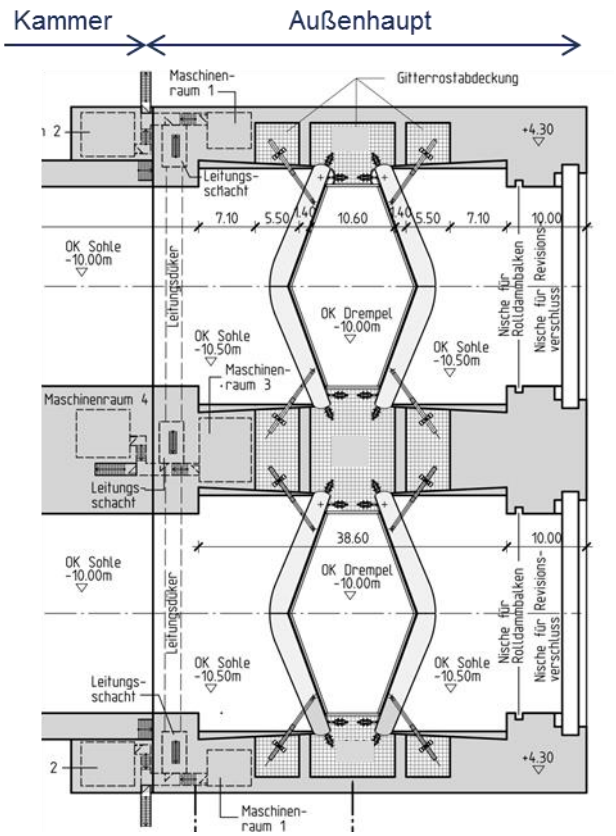


Abbildung 14: Massivbau Häupter (T0)

Bei Berücksichtigung der Ausbaureserve (T2100) sind zusätzliche Einwirkungen aus Erd- und Wasserdruck auf die Wände und die Sohle der Häupter anzusetzen. Gemäß Anlage 2 werden die Zusatzlasten über zusätzliche Bewehrung aufgenommen, eine Erhöhung der Bauteildicken ist nicht erforderlich.

Kammer

Die Kammerlänge beträgt 145,8 m und ergibt sich aus der Nutzlänge von 155 m den Sicherheitsabständen von 10 m gemäß Kap. 3.10. und der Anordnung der innenliegenden Stemmtore in den Häuptern.

Bei Berücksichtigung der Ausbaureserve (T2100) sind zusätzliche Einwirkungen aus Erd- und Wasserdruck auf die Wände und die Sohle der Kammer anzusetzen. Aus statischen Gründen wird ein landseitiger Sporn in der Kammersohle vorgesehen. Die Anordnung des 3 m breiten Sporns ist innerhalb der bisherigen, lichten Baugrubenbreite möglich. Ansonsten werden gemäß Anlage 2 die Zusatzlasten über zusätzliche Bewehrung aufgenommen, eine Erhöhung der Bauteildicken ist nicht erforderlich.

Weitere konstruktive Änderungen gegenüber der Vorzugsvariante K5 aus der Machbarkeitsstudie sind nicht erforderlich.

5.2 Baugrube (T0)

Das Baugrubenkonzept aus der Machbarkeitsstudie mit landseitigen Bohrpfahlwänden, wasserseitigen Fangedämmen und rückverankerter Unterwasserbetonsohle kann beibehalten werden.

Aufgrund der Verlängerung der Schleuse sind folgende Anpassungen erforderlich:

- Verschiebung der Fangedämme
  Die Verschiebung erfolgt entsprechend der Schleusenanordnung um 21,5 m in Richtung NOK und um 15 m in Richtung Kieler Förde. Vorteil der beidseitigen Verschiebung ist, dass die Spundwände der Fangedämme in einem größeren Abstand zur vorhandenen Bausubstanz und außerhalb der Sandcontainerlagen aus der Sicherungsmaßnahme eingebracht werden können. Die Zuwegung zu den Fangedämmen ist auch bei der angepassten Anordnung noch gegeben.
- Temporäre Sandverfüllung zwischen Fangedamm und Bestand
  Für die Herstellung der Bohrpfahlwände ist der Bereich zwischen Fangedamm und Bestandsschleuse aufzufüllen. Das Auffüllmaterial kann teilweise aus Teilaushub und –abbruch innerhalb der Bestandsschleuse gewonnen werden.
- Verlängerung der Bohrpfahlwände und Unterwasserbetonsohle
  Die Bohrpfahlwandreihen werden an die Fangedämme herangeführt und sind entsprechend zu verlängern.

Die Breite der Baugrube bleibt unverändert.

5.3 Ausbauzustand (T2100)

Im Ausbauzustand wird die Planie in den Häuptern und auf der Mittelmauer um 1,55 m auf NHN +5,85 m angehoben. Die Planie der Seitenwände wird um 1,8 m auf NHN +4,60 m angehoben.

Die Anpassung der Planie erfolgt durch eine konstruktive Erweiterung des Massivbaus in Stahlbetonbauweise. Hierfür ist vorab die Randzone der vorhandenen Konstruktion abzutragen und eine flächige Verankerung im Bestand vorzusehen. Die Aufhöhung wird dann als geschalte Konstruktion mit entsprechender Bewehrung und mit Beton in entsprechender Expositionsklasse hergestellt.

Die Treppenläufe für die Zugänge zu den Maschinenräumen und zu den Dükerschächten werden verlängert. Die Abdeckungen der unterflur befindlichen Räume und Gruben werden auf die neue Planiehöhe angehoben.

Der Zugang zum Leitstand wird in T0 ebenerdig hergestellt. Im Ausbauzustand T2100 liegt das Erdgeschoss etwa 1,55 m unter der Planieebene. Der Zugang erfolgt dann über einen Niedergang. Alternativ könnte der Leitstand in T0 auf einem Sockel erstellt werden, so dass in T2100 der Zugang ebenerdig erfolgt.

Für den Übergang vom Schiff auf die Planie der Seitenwände ist zu beachten, dass der Anstieg des Ostseewasserstandes nicht schlagartig erfolgt, sondern kontinuierlich über einen längeren Zeitraum. Der NOK-Wasserstand wiederum bleibt unverändert. Die Wassertreppe in der Kammerseitenwand wird über normale Treppenstufen nach oben verlängert. Auf Podeste für einen komfortablen Übergang vom Schwimmsteg auf die Kammerwand wird verzichtet, da es sich um einen Notausstieg handelt und die Sportbootfahrer planmäßig nur den Schwimmsteg nutzen sollen. Podeste wären wegen der oben beschriebenen Wasserstände auf verschiedenen Ebenen anzuordnen, verbunden mit einem unverhältnismäßig hohen Platzbedarf.

Die Ausrüstung der Schleuse ist für den Ausbauzustand anzupassen. Dies betrifft insbesondere folgende Ausrüstungsteile:

- Verlängerung der Steigeleitern und Nutzlängenmarkierungen
- Ggf Anpassung der Nischenpoller in Abstimmung mit der Nautik
- Demontage und erneute Montage der Poller und Hilfswinden auf neuer Planiehöhe
- Abbruch Kantenschutz und erneute Herstellung auf neuer Planiehöhe
- Anpassung der Halterungen und Seitenführungen für die Schwimmfender
- Anpassung der Pegel und weiterer Betriebs- und Versorgungseinrichtungen an die neue Planiehöhe

Die landseitigen Betriebswege und Flächen sind an das Höhenniveau der Planie anzupassen. Die Zuwegung zu den Toren ist auf OK Planie und Laufsteg NHN+5,85 m zu erhöhen, um die Überfahrt mit Fahrzeugen zu gewährleisten. Das an die Schleuse angrenzende Gelände ist höhenmäßig so auszuführen, dass eine durchgängige Hochwasserschutzlinie gegeben ist. Die Schutzhöhe sollte mindestens der Stauhöhe am Tor, d.h. mind. NHN +5,10 m entsprechen. Zur Sicherstellung der 2. Deichlinie bei Ausfall eines Außentores ist die Schutzhöhe zwischen dem Außenhaupt und dem Binnenhaupt zu verbinden. Dies kann durch eine Schutzwand hinter der Planie, durch eine Geländeaufhöhung oder eine befestigte Böschung erfolgen. Im Falle einer Schutzwand sind Stöpen (Deichdurchgänge) vorzusehen, die mit Dammbalken verschlossen werden können.

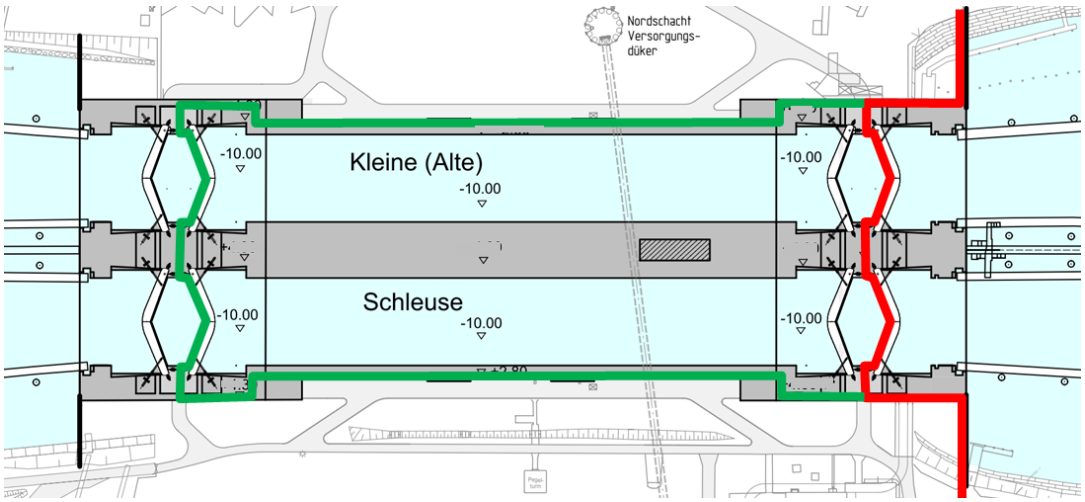


Abbildung 15: Hochwasserschutz Schleuse (1. Deichlinie rot; 2. Deichlinie grün)

Im Bereich der Tore wird die Antriebsgrube von NHN +2,50 m auf NHN +3,60 m angehoben. Die Torzylinderverankerung und die Torzylinder werden entsprechend nach oben versetzt. Die Lage der Halslager, der Stemmknaggen an der Wendesäule und der Spurlager bleibt unverändert.

Die Grube für die Halslager (OK NHN +3,10 m) schließt wasserseitig mit einer aufgehenden Stahlbetonwand ab und bildet zusammen mit der Stauwand der Torkonstruktion die Hochwasserschutzlinie. Die Abdichtung zwischen beiden Bauteilen erfolgt mittels Notendichtung. Die Dicke der Stahlbetonwand beträgt aufgrund des Platzbedarfs für das Halslager etwa 40 cm. Die Wandhöhe beträgt 1,20 m in T0 und 2,75 m in T2100. Zur Erhöhung der Robustheit können oberhalb der Halslager demontierbare Aussteifungen für diese Wandabschnitte angeordnet werden.

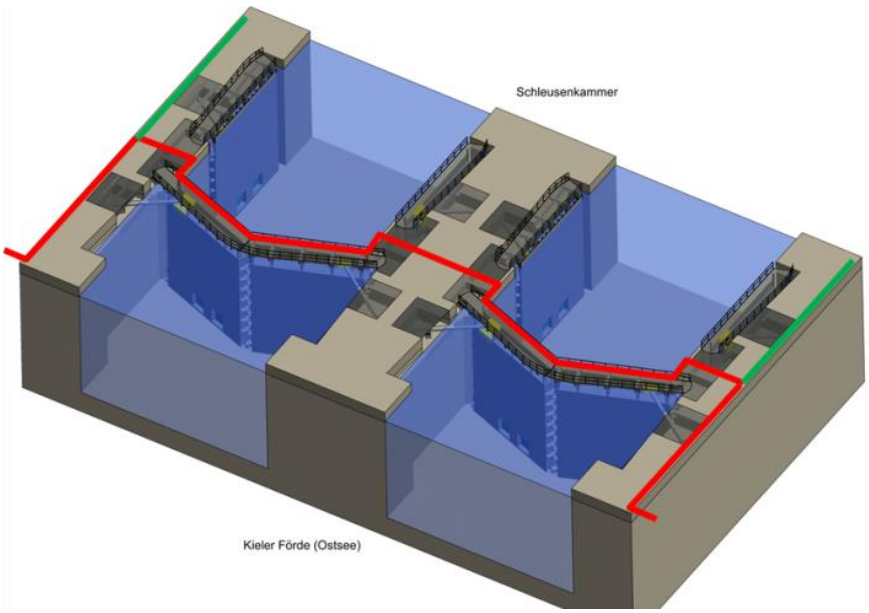


Abbildung 16: Hochwasserschutzlinie im Außenhaupt

6 AUSWIRKUNGEN AUF DEN STAHLWASSERBAU

6.1 Zielvariante Verschlüsse

Gesamtkonzeption der Verschlüsse

Entsprechend dem Ergebnis der Variantenuntersuchung zur Torkonstruktion werden je Haupt zwei gegensätzlich angeordnete Stemmtorpaare (doppelkehrende Stemmtore) vorgesehen. Aus den Bemessungswasserständen ergeben sich für die Fluttore höhere Belastungen als für die Ebbtore. Aufgrund der erforderlichen Anordnung der Torantriebe (oberhalb des mittleren Wasserstandes) und im Hinblick auf eine wirtschaftliche Reservetorvorhaltung (Standardtor) werden die Fluttore und Ebbtore baugleich geplant. Weiterhin ist für jedes Torpaar ein eigener Laufsteg vorgesehen, um eine flexible Querung der Kammern ohne aufwendige Leittechnik zu ermöglichen.

Bei den inversen Stemmtoren der Machbarkeitsstudie wurden kammerseitig der Torkonstruktion optionale Stoßschutzeinrichtungen mit aktiven Energieaufnehmern vorgesehen, um die Tore gegen Schiffsanfahrungen mit geringer Stoßenergie zu schützen. Unter dem jetzt geänderten Torkonzept wird der Einsatz dieser zusätzlichen Schutzeinrichtung aus technisch-wirtschaftlichen Gründen nicht weiterverfolgt. Bei den doppelkehrenden Stemmtoren wären die aktiven Stoßschutzeinrichtungen auf der Nischenseite anzuordnen, was zu einer sehr großen Nischentiefe und zu Problemstellungen bei der Torantriebsanordnung führen würde. Um dennoch einen begrenzten Schutz der Tore vor einer Schiffsanfahrung zu erreichen, sieht die geänderte Torkonzeption vor, die innenliegenden Tore vor einer Schiffseinfahrt in die Schleusenkammer zu schließen. Bei einer möglichen Schiffsanfahrung fungieren diese Tore dann als passiver Stoßschutz. Auftretende Beschädigungen am Tor werden dabei in Kauf genommen.

Für die Schleusenvorgänge sind 4 verschiedene Szenarien möglich:

	Wasserstand	Fahrtrichtung Schiff	Wasserstand NOK [NHN m]	Wasserstand Förde [NHN m]
1	Förde > NOK	von NOK nach Förde	-0,20 (bis +0,50)	T0: MW +0,04 BWo +1,70 T2100: MW +1,78 BWo +3,48
2	Förde > NOK	von Förde nach NOK		
3	NOK > Förde	von NOK nach Förde	+0,50 (bis -0,20)	T0: MW +0,04 BWu -1,40 T2100: MW +1,78 BWu +0,08
4	NOK > Förde	von Förde nach NOK		

Im Folgenden werden einzelne Vorgänge exemplarisch aufgezeigt.

Szenario 1: Schleusung von NOK (NKW -0,20 m) zur Förde (MW +1,78 m)

Gesamter Schleusungsvorgang zum Zeitpunkt T2100. Wasserstände exemplarisch gewählt.

Vorgang 1:

- AH: „Fluttor“ geschlossen, „Ebbtor“ geöffnet
- BH: „Fluttor“ und „Ebbtor“ geöffnet

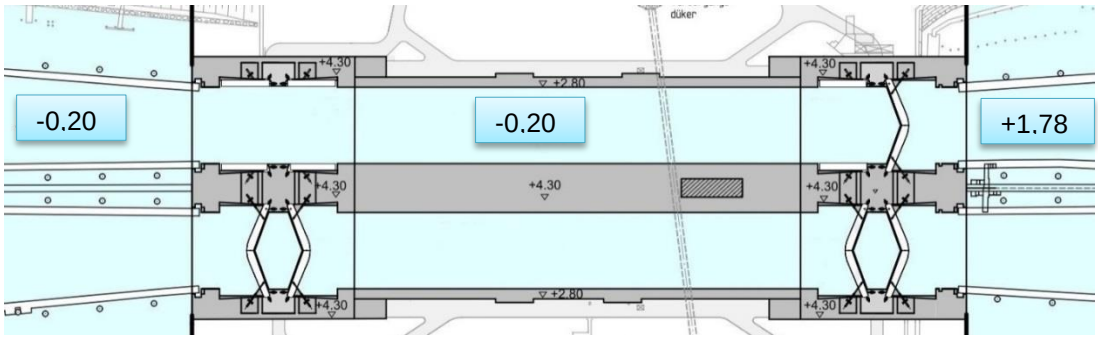


Abbildung 17: Schleusungsvorgang - Ausgangspunkt

Vorgang 2:

- Start Schleusungsvorgang
- AH: „Ebbtor“ wird geschlossen (Funktion als passiver Stoßschutz)
- Schiff fährt ein

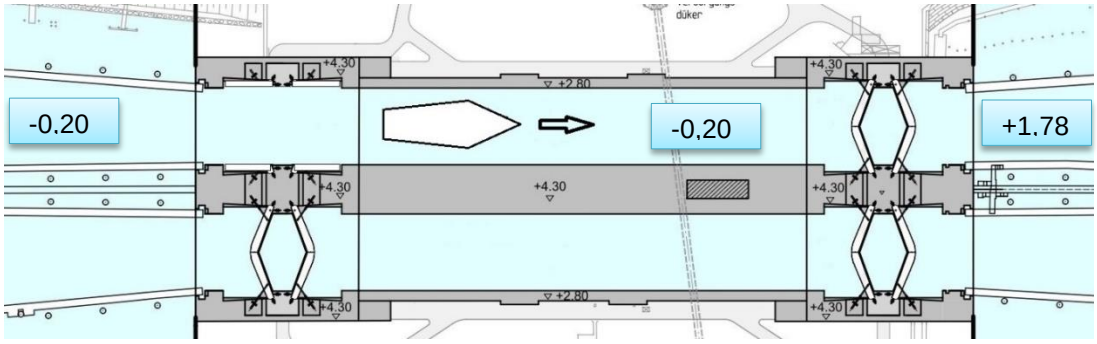


Abbildung 18: Schleusungsvorgang – Start Schleusungsvorgang

Vorgang 3:

- BH: „Fluttor“ wird geschlossen
- AH: „Ebbtor“ wird geöffnet
- AH: Schütze „Fluttor“ werden gezogen
- Befüllung der Kammer

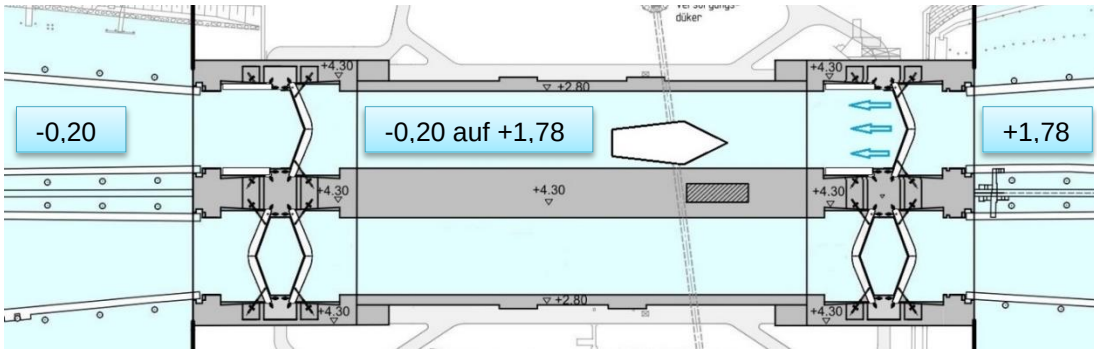


Abbildung 19: Schleusungsvorgang – Pegelausgleich

Vorgang 4:

- AH: „Fluttor wird geöffnet“
- Schiff fährt aus
- Ende Schleusungsvorgang

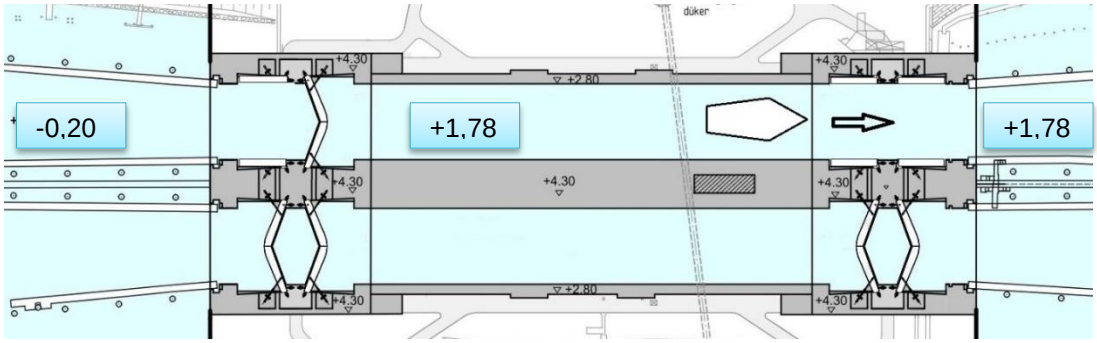


Abbildung 20: Schleusungsvorgang – Ende Schleusungsvorgang

Szenario 2: Schleusung von Förde (MW +1,78 m) zum NOK (NKW -0,20 m)

Start Schleusungsvorgang zum Zeitpunkt T2100. Wasserstände exemplarisch gewählt.

Vorgang 2:

- Start Schleusungsvorgang
- BH: „Fluttor“ ist geschlossen
- AH: „Fluttor“ wird geöffnet“
- Schiff fährt ein

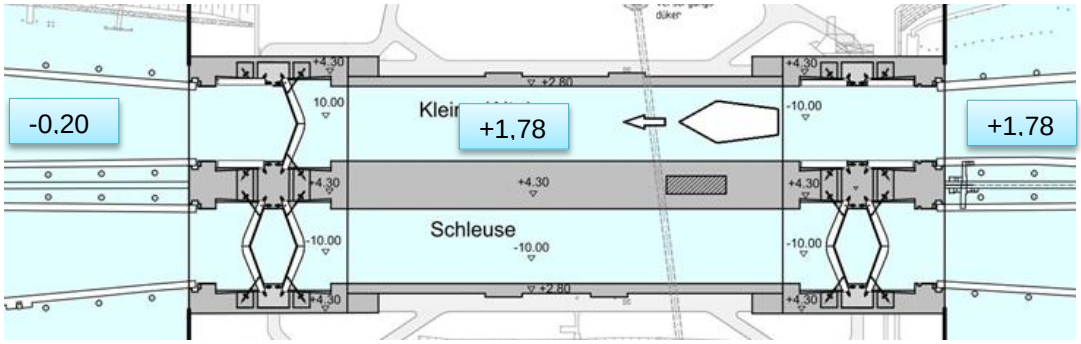


Abbildung 21: Schleusungsvorgang – Start Schleusungsvorgang

Dieser Schleusungsvorgang ist im Hinblick auf den Einsatz eines Notverschlusssystems entscheidend. Bei einer möglichen Kollision des einfahrenden Schiffes mit dem kanalseitigen Fluttor kann es zu einer großen Leckage und damit verbunden zu einer Durchströmung der Schleusenkammer kommen.

Zum Zeitpunkt T0 gilt der bisherige Ansatz des WSA, dass bei Havarie am kanalseitigen Fluttor und Einströmen von Ostseewasser in den NOK der NOK über Brunsbüttel entwässert werden kann oder der Wasserstand der Ostsee wieder auf ein dem NOK gleiches Niveau sinkt, so dass dann die fördeseitigen Tore geschlossen werden können.

Bei Anstieg des Meeresspiegels bis hin zu T2100 steht fördeseitig permanent ein höherer Wassersstand an. In diesem Fall sind der NOK und die angrenzenden Niederungen durch ein separates Notverschlusssystem zu schützen (siehe Kap.4.2). Das Notverschlusssystem ist zu installieren und vorzuhalten, bevor die mittleren Wasserstände der Ostsee ein für den NOK kritisches Niveau erreicht haben.

Szenario 4: Schleusung von Förde (BWu -1,40 m) zum NOK (HKW +0,50 m)

Start Schleusungsvorgang zum Zeitpunkt T0. Wasserstände exemplarisch gewählt.

Vorgang 2:

- Start Schleusungsvorgang
- BH: „Ebbtor“ ist geschlossen
- AH: „Ebbtor“ wird geöffnet“
- Schiff fährt ein

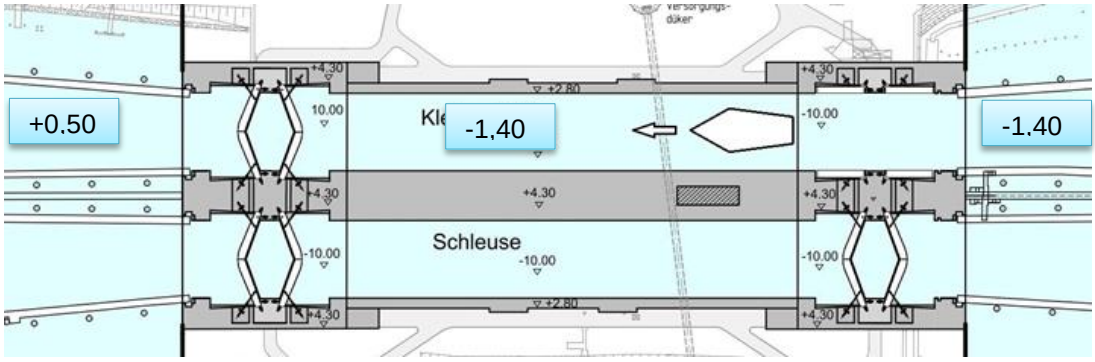


Abbildung 22: Schleusungsvorgang – Start Schleusungsvorgang

Das kanalseitige Ebbtor ist notwendig, wenn der NOK-Wasserstand höher ist als in der Förde und das Schiff aus der Förde kommend in die Schleuse einfährt.

Analog ist das kanalseitige Ebbtor in Szenario 3 notwendig, wenn das Schiff vom NOK kommend aus der Schleuse ausfährt.

Umsetzung des Ersatzneubaus (T0)

Die Bauweise der doppelkehrenden Stemmtore beruht auf dem grundsätzlichen Konstruktionsentwurf der Machbarkeitsstudie. Anstelle der Drehlager an den Wendesäulen und den Verriegelungen an der Schlagsäule werden die Torflügel mit Stemmknaggen für den Lastabtrag ausgeführt. Die in den Torflügeln integrierten Füll- und Entleerungschütze dichten, entgegen dem Entwurf der Machbarkeitsstudie, jeweils nur in eine Richtung ab. Der Antrieb der Schütze ist wahlweise in der geschlossenen Torstruktur oder nach oben versetzt unterhalb des Torlaufsteges anzuordnen.

Mit der Herstellung des Ersatzneubaus (T0) sind die Torstruktur einschl. der Schütze sowie die lastabtragenden Einbauteile (Stemmknaggenträger, Hals- und Spurlager, Antriebslagerungen) bereits für den Ausbauzustand (T2100) bemessen. Die im Zuge des Ausbaus (T2100) in eine neue Höhenlage zu versetzenden Laufstege und Torantriebslagerungen werden baulich mit einer entsprechenden Trennstelle versehen.

Der Torlaufsteg ist bündig zur Planie ausgeführt, um eine Überfahrbarkeit der Tore mittels Elektrofahrzeugen zu gewährleisten. Die Torgruben werden mit robusten Abdeckkonstruktionen ausgeführt.

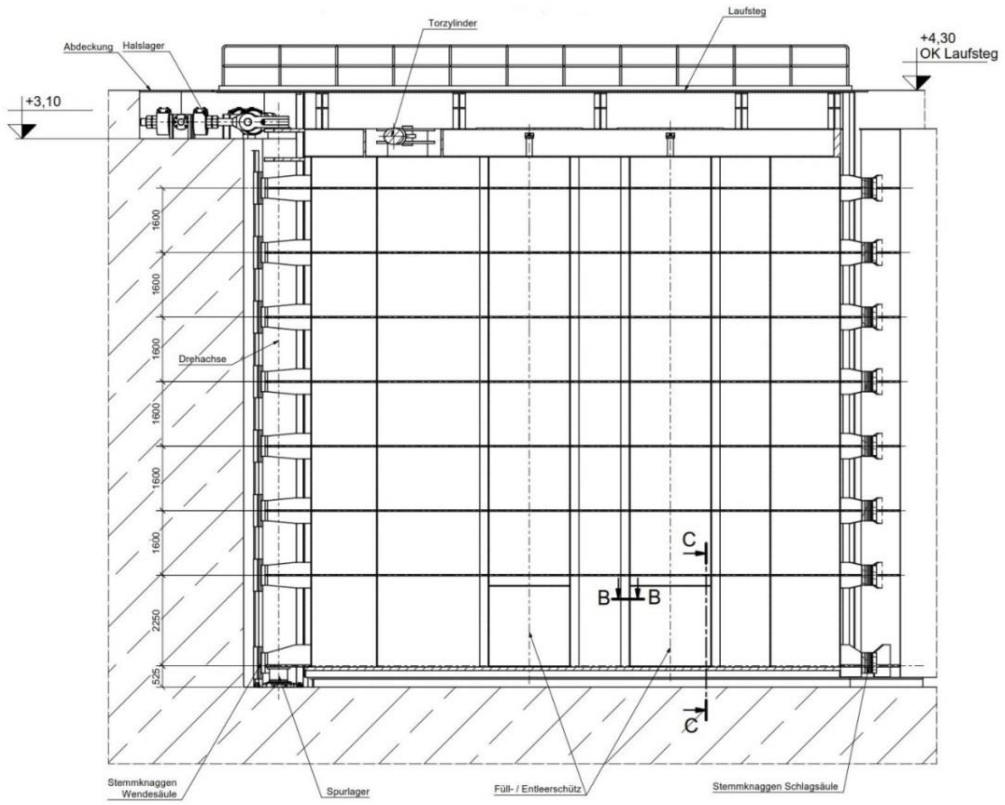


Abbildung 23: Stemmtor Ersatzneubau (T0)

Ausbauzustand (T2100)

Für die Herstellung des Ausbauzustandes (T2100) ist auf den Torkörper eine ausgesteifte Stauwand aufzusetzen um das geänderte Stauziel (+5,10 m) zu erreichen. Die Torlaufstege sowie die Torzylinderlagerungen- und anschlüsse werden an den vorgesehenen Trennstellen mit entsprechenden Adapterkonstruktionen versehen und auf das neue Höhenniveau gebracht. Weiterhin ist auch der Tordichtrahmen im Massivbau durch eine Aufsatzkonstruktion auf das neue Höhenniveau zu bringen. Im Anschluss an die Aufbetonage der Planie und der Gruben sind die Abdeckkonstruktionen entsprechend dem neuen Höhenniveau zu montieren. Bei einer Anordnung der Schützantriebszylinder außerhalb der geschlossenen Torkonstruktion ist die aufgesetzte Stauwand auch um die Schützschächte zu führen.

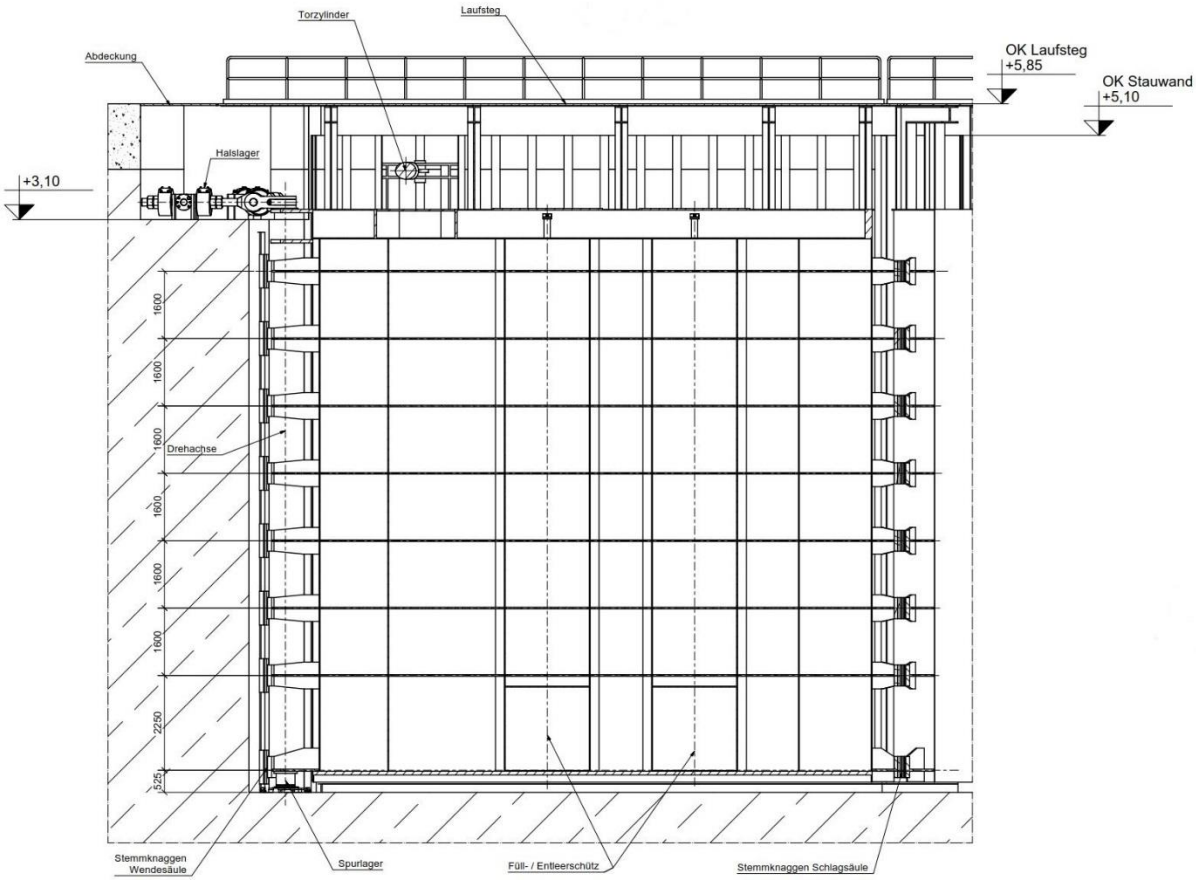


Abbildung 24: Stemmtor Ausbauzustand (T2100)

6.2 Untersuchung zur Weiternutzung der vorh. Revisionsverschlüsse

Unter den geänderten Randbedingungen der Sensitivitätsanalyse ist auch die Weiternutzung der vorhandenen Revisionsverschlüsse zu betrachten. Die geänderten, höheren Wasserstände erfordern eine Anhebung des Stauziels der Revisionsverschlüsse für den Ausbauzustand (T2100).

Variante 1 – Erhöhung Revisionsverschlussadapter

Eine Lösungsvariante stellt die Erhöhung der Revisionsverschlussadapter dar.

Mit dem Ersatzneubau (T0) werden die Führungsnischen sowie die Adapterkonstruktionen zunächst bis zur OK Planie (+4,30 m) ausgeführt. Die Führungen und die Adapterkonstruktionen werden dabei bereits für die maximale Wasserlast im Ausbauzustand bemessen. Der vorhandene Revisionsverschluss wird gemäß Konzeption der Machbarkeitsstudie eingesetzt.

Im Zuge des Ausbaus (T2100) werden die Führungsnischen sowie die Planie auf das erforderliche neue Höhenniveau (+5,85 m) angehoben. Die Adapterkonstruktionen sind durch einen „Anbau“ und lokale Verstärkung auf die neue Höhe anzupassen.

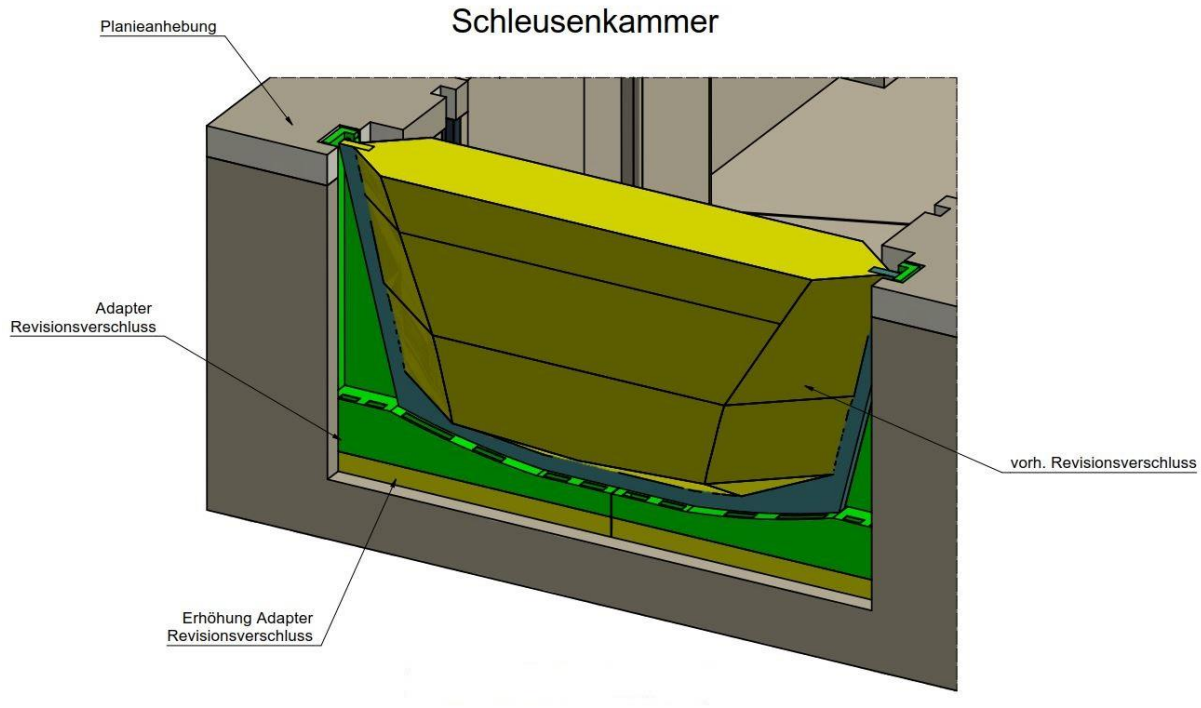


Abbildung 25: Erhöhung des Revisionsverschlussadapters

Variante 2 – Erhöhung des vorhandenen Revisionsverschlusses

Als alternative Lösungsvariante wird auch eine mögliche Erhöhung des vorhandenen Revisionsverschlusses betrachtet.

Analog zur Variante 1 werden die Führungsschienen sowie die Adapterkonstruktionen mit dem Ersatzneubau (T0) zunächst bis zur OK Planie (+4,30 m) ausgeführt.

Im Zuge des Ausbaus (T2100) werden die Führungsnischen sowie die Planie auf das erforderliche neue Höhenniveau (+5,85 m) angehoben. Das neue Stauziel wird durch eine Erhöhung der Revisionsverschlusskonstruktion erreicht. Ein maßgebender Nachteil dieser Lösungsvariante ist die erforderliche statische Betrachtung/ Nachrechnung der vorhandenen Revisionsverschlusskonstruktion. Im diesem Zuge wäre auch die Schwimmstabilität für die geänderte Revisionsverschlusskonstruktion zu überprüfen.

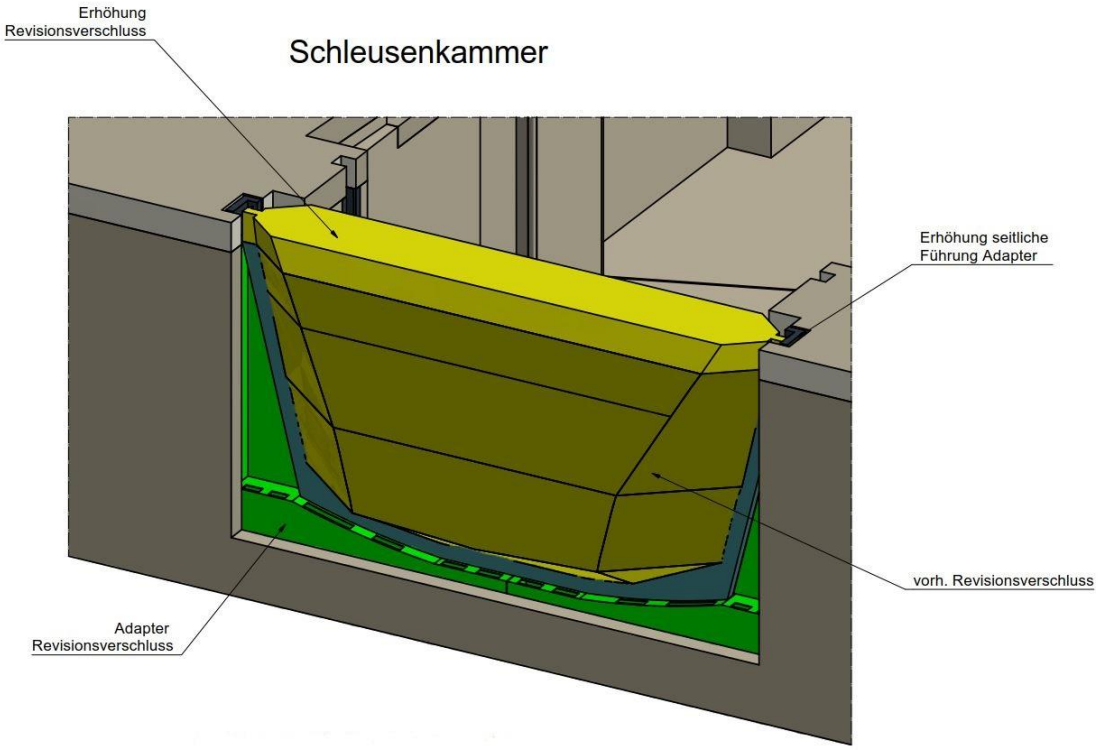


Abbildung 26: Erhöhung der vorh. Revisionsverschlusskonstruktion

Zusammenfassung und Empfehlung Zielvariante

Als Ergebnis der durchgeführten Variantenuntersuchung wurde die Variante 1 „Erhöhung Revisionsverschlussadapter“ als Zielvariante ermittelt. Diese Anpassungslösung stellt aus technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten die beste Lösung dar. Die alternative Variante 2 „Erhöhung der vorh. Revisionsverschlusskonstruktionen“ birgt das Risiko von Unwägbarkeiten aus der Bestandskonstruktion sowie eines erhöhten Aufwandes für die durchzuführenden Berechnungen, Nachweise und konstruktive Anpassungen.

6.3 Untersuchung eines Notverschlusssystems

Entsprechend dem Ergebnis der durchgeführten Variantenuntersuchung zu den Notverschlusssystemen wurde die Konstruktionslösung „Rolldammbalken“ als Zielvariante ermittelt.

Im Zuge der nächsten Planungsphasen ist das Ein- und Ausbaukonzept für die Notverschlüsse noch zu entwickeln. Als mögliche Lösung für das Setzen der Rolldammbalken unter Strömung kann eine Montagehilfskonstruktion (Einschubkonstruktion) zum Einsatz kommen, welche für die Rolldammbalken als Magazin dient und mittels eines Hilfsantriebes über den Schleusenkammern platziert wird. Der spätere Ausbau der Rolldammbalken bei ausgeglichenem Wasserstand könnte dann zum Beispiel mittels Hilfswinden oder mit Hilfe eines Schwimmkrans erfolgen.

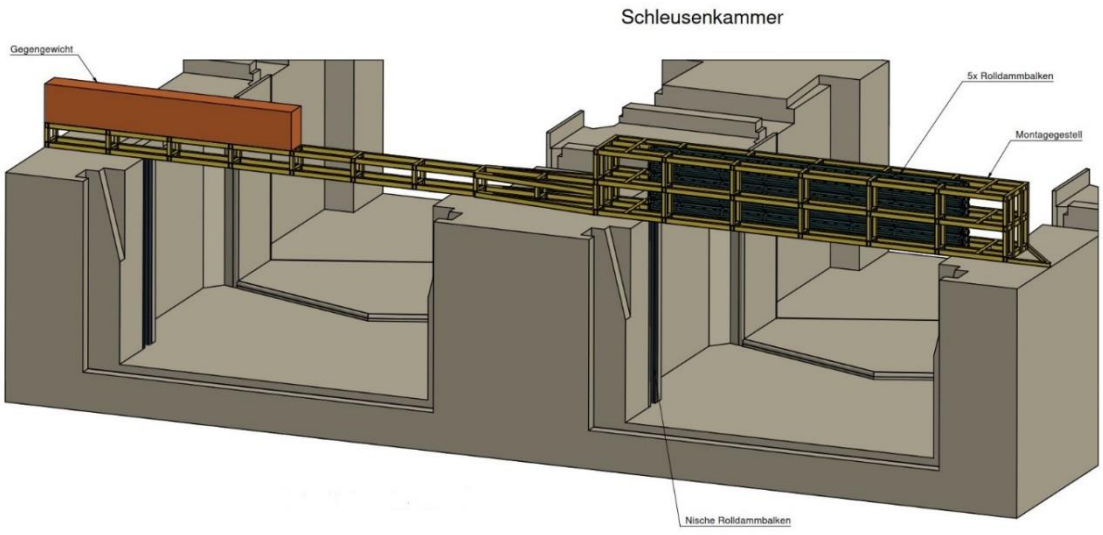


Abbildung 27: Prinzipskizze zum Einbau des Notverschlusses

Mit dem Ersatzneubau (T0) werden die Notverschlussnischen einschl. der Führungen im Massivbau erstellt.

Der Zeitpunkt für die Beschaffung der Rolldammbalken und den dazugehörigen Montage- und Hilfseinrichtungen ist im Rahmen einer weiterführenden Risikobetrachtung noch festzulegen. Der vollständige Verschluss einer Schleusenkammer erfordert zum Zeitpunkt (T0) ca. 14 Stück Rolldammbalken und im Ausbauzustand (T2100) ca. Stück 15 Rolldammbalken. Im Nahbereich des Außenhauptes sind entsprechende Flächen für die Lagerung der Rolldammbalken und Einschubkonstruktion vorzusehen.

Im Zuge des Ausbaus (T2100) sind dann die Notverschlussnischen einschl. den Führungen auf das neue Höhenniveau (+5,85 m) zu bringen.

7 AUSWIRKUNGEN AUF DIE TECHNISCHE AUSRÜSTUNG

7.1 Erneuerung der Maschinen- und Antriebstechnik

Das im Zuge der Machbarkeitsstudie ausgearbeitete Konzept zur Maschinen- und Antriebstechnik hat unter den geänderten Randbedingungen des Einsatzes von doppelkehrenden Stemmtoren im Grundsatz weiterhin Bestand.

Aufgrund der zur Machbarkeitsstudie geänderten Anzahl an Schleusentoren und Betriebsverschlüssen je Haupt verdoppelt sich die Anzahl der erforderlichen Antriebszylinder für den Tor- und Schützantrieb. Die zusätzlichen Antriebe, welche für die Verriegelung der inversen Stemmtore erforderlich waren, werden unter dem geänderten Tortyp nicht mehr benötigt und entfallen.

Weiterhin reduziert sich durch den Wegfall der Anforderung „Notschließen der Tore gegen die Strömung“ die max. erforderliche Antriebskraft der Schleusentore um ca. 60 % von ca. 3.600 kN auf ca. 1.500 kN. Es ergibt sich daraus eine geringere Baugröße der Torantriebszylinder und ein geringerer erforderlicher Leistungsbedarf bezogen auf den Einzelantrieb.

Mit der Herstellung des Ersatzneubaus (T0) wird die Maschinen- und Antriebstechnik bereits für den Ausbauzustand (T2100) ausgelegt.

Ein gleichzeitiges Fahren der Stemmtorpaare eines Hauptes wird vorgesehen, um die Gesamtschleusungsdauer nicht zu verlängern. Aufgrund der geringeren Torantriebslasten ist ein gleichzeitiges Fahren der Tore bei vergleichbarer Leistung und Antriebsaggregatsgröße zur Machbarkeitsstudie möglich.

Analog zur Machbarkeitsstudie ist die Anordnung von jeweils einem Hydraulikaggregat auf den Landseiten und zwei Hydraulikaggregaten auf der Mittelmauer je Haupt vorgesehen. Dadurch ist ein Betrieb von jeweils 2 Torflügeln mit einem Aggregat sowie ein unabhängiger Betrieb von beiden Schleusenkammern möglich. Aufgrund der Redundanz in jedem Aggregat können die beiden Torflügel je Aggregat auch unabhängig gefahren werden.

7.2 Erneuerung der Elektro- und Steuerungstechnik

Die Auswirkungen auf die Elektro- und Steuerungstechnik werden im Rahmen dieser Sensitivitätsbetrachtung nicht untersucht.

Im weiteren Planungsverlauf ist die Planung der EMSR-Technik an das geänderte Torkonzept mit doppelkehrenden Stemmtoren anzupassen und weiter zu detaillieren. Insbesondere ist der Platz- und Energiebedarf für die zusätzlichen Stemmtorpaare zu untersuchen. Es wird aber davon ausgegangen, dass sich der Energiebedarf nur in einem geringen Umfang ändern wird. Das bisherige Konzept hat im Grundsatz weiter Bestand.

8 AUSWIRKUNGEN AUF WEITERE BAUTEILE

8.1 Ufersicherung ostseeseitig (BT7) und NOK-seitig (BT8)

Die Flügelwände für das Außenhaupt (BT7) werden im Ausbauzustand auf die neue Planiehöhe der Häupter (NHN +5,85 m) aufgehöht. Damit verläuft im Nahbereich der Schleuse die Hochwasserschutzlinie entlang der Ufersicherung.

Die Aufstockung kann durch Verlängerung der Spundwände oder durch Aufsatz eines Stahlbetonholmes erfolgen. Die Spundwandprofile und Verankerungen müssen nicht angepasst werden, da die angesetzten Einwirkungen aus dem Zustand T0 für die Bemessung maßgebend sind.

Die Flügelwände am Binnenhaupt (BT8) müssen nicht angepasst werden.

8.2 Hochbau (BT11)

Der Leitstand wird in T0 so hergestellt, dass eine nachträgliche Erhöhung der Planie zum Zeitpunkt T2100 ohne größere Umbaumaßnahmen durch Anpassung des Zugangs ermöglicht wird (vergl. Kap. 5.3).

8.3 Leitwerke (BT12)

Die Leitwerke sind von der Sensitivitätsbetrachtung ausgenommen, da deren Nutzungsdauer bei 40 Jahren liegt.

Die Position der Leitwerke wird durch die Verlängerung der Schleuse geändert. Die Lage und Ausrichtung der Leitwerke wird vom Bestand auf den Neubau übertragen, d.h. der Winkel zur Schleusenlängsachse wird übernommen.

8.4 Wege und Flächen (BT13)

Die Wege und Flächen werden an die geänderte Länge der Schleuse und an die neue Anordnung der Tore angepasst.

Im Ausbauzustand T2100 sind die Wege und Flächen an die neuen Planiehöhen heranzuführen. In der Statik wurde auf der sicheren Seite liegend angesetzt, dass das Gelände sowohl an den Häuptern als auch an der Kammer bei NHN +5,85 m ansteht.

8.5 Ver- und Entsorgungstrassen (BT14)

Beim Bau der Schleuse sollte der neue Versorgungsdüker in Betrieb sein. Bei Bedarf (z.B. spätere Inbetriebnahme des Dükers) werden Versorgungsleitungen auf den fördeseitigen Fangedamm verlegt. Durch die Verschiebung des Fangedamms um ca. 15 m in Richtung Kieler Förde sind die betroffenen Trassen und Leitungen entsprechend zu verlängern. Für die Änderung der Kabellängen ist die Netzberechnung für diese Kabel neu zu erstellen. Die größeren Kabellängen sind bereits bei der Ausführung der Sicherungsmaßnahme an der Kleinen Schleuse zu berücksichtigen.

Eine Anpassung des Konzeptes für die Leitungstrassen im Endzustand T0 ist nicht zu erwarten.

Im Ausbauzustand T2100 sind die Leitungstrassen entlang der Schleuse ggf. an das Gelände anzupassen. Zudem sind Leitungsanschlüsse auf der Planie, wie z.B. die Trinkwasserleitung zu erneuern.

9 AUSWIRKUNGEN AUF DIE BAUAUSFÜHRUNG

9.1 Baustelleneinrichtungsflächen und Zuwegungen

Das Konzept für die Baustelleneinrichtungsfläche bleibt im Wesentlichen unverändert.

9.2 Bauablauf

Der Bauablauf für die Zielvariante der Sensitivitätsbetrachtung ist in den Plänen in Anlage 5 dargestellt. Wesentliche Änderungen:

- Bauphase 1: Die Spundwände werden durch die förde- bzw. binnenseitige Verschiebung der Fangedämme nicht mehr im Bereich der Sandcontainer eingebaut. Ein vorgezogener Ausbau der Sandcontainer kann daher entfallen.
- Bauphase 1: Die erforderlichen Massen für die Sandverfüllung zwischen den neu hergestellten Fangedämmen und der Bestandsschleuse erhöhen sich durch die Verschiebung der Fangedämme. Das Sandmaterial wird teilweise zugeliefert (Bauphase 1) und teilweise aus dem Aushub in der verfüllten Kammer gewonnen (Bauphase 3).

- Bauphase 2 und 3: Die Bohrpfahlwände werden erst im Bereich der Kammer und anschließend im Bereich der Häupter eingebaut.

Im Folgenden wird der angepasste Bauablauf vollständig beschrieben.

9.2.1 Bauphase 0

Bauphase 0 umfasst den Ausgangszustand bei Baubeginn, d.h. die Schleuse ist außer Betrieb gesetzt und durch eine Sandverfüllung gesichert. Im Außenhaupt und Binnenhaupt sind Fangedämme angeordnet, die bis NHN +4,30 m bzw. NHN +2,00 m verfüllt sind. Die gesamte Kammer ist bis NHN+2,00 m mit Sand verfüllt. Der Wasserstand in der Verfüllung wird über Dränagen bei ca. ± 0,0 m gehalten. Außenseitig vor den Häuptern sind Sandcontainer zur Sicherung der Stirnseiten angeordnet.

9.2.2 Bauphase 1

- Herstellung der Baustellenzufahrten Nordseite (Holtenau) und Südseite (zum binnenseitigen Anleger) sowie Anschluss an die Fangedämme innerhalb der bestehenden Häupter
- Herstellung der Baustelleneinrichtungsfläche auf der Mittelinsel und auf der Nordseite der Schleuse
- Rückbau der Bootsanleger Nordseite, Bootsanleger Südseite sowie fördeseitige und binnenseitige Leitwerke im Bereich der Fangedämme
- Räumungsbohrungen für die Spundwandtrassen der Fangedämme
- Neubau der Fangedämme fördeseitig (OK NHN +4,0 m) und binnenseitig (OK NHN +2,0 m) einschließlich Verfüllung und Oberflächenbefestigung für Fahrzeugverkehr.
- Teilweise Sandverfüllung zwischen den außen liegenden Fangedämmen und der Bestandsschleuse

9.2.3 Bauphase 2

- Bei Bedarf Leitungsumverlegung vom Fangedamm im Außenhaupt auf den fördeseitigen Fangedamm (sofern Versorgungsdüker noch nicht in Betrieb)
- Rückbau des Leitstandes einschließlich der Technischen Ausrüstung (TA) sowie der Antriebstechnik und TA in den Häuptern und der Kammer
- Kammer: Einbau der nördlichen und südlichen Baugrubenbohrpfahlwand

9.2.4 Bauphase 3

- Wasserhaltung hinter den Seitenwänden auf NHN ±0,0 m

- Wasserhaltung innerhalb der Auffüllung in der Schleuse auf NHN -2,0 m. Auffüllung ist durch Seitenwände und innenliegende Fangedämme umschlossen.
- Kammer:
  - Abbruch der Seitenwände und der Mittelwand in der Kammer bis NHN ±0,0 m. Abbruch zu den Häuptern hin abgeböscht
  - Aushub zwischen den innenliegenden Fangedämmen bis NHN -1,0 m. Nutzung des Aushubs zur restlichen Sandverfüllung zwischen den außen liegenden Fangedämmen und der Bestandsschleuse auf NHN +2,0 m.
  - Herstellung der Schrägpfähle zur Verankerung der Seitenwände
- Häupter:
  - Einbau der nördlichen und südlichen Baugrubenbohrpfahlwand
  - Aushub und Abbruch der Häupter bis NHN ±0,0 m im Trockenen inkl. Rückbau der Fangedämme in den Häuptern
  - Einbau der 1. Verankerungslage für die Baugrubenwände Häupter auf NHN +0,5 m

9.2.5 **Bauphase 4**

- Wasserhaltung innerhalb der Auffüllung in der Schleuse auf NHN -5,0 m
- Aushub und Abbruch der Häupter und der Kammer bis NHN -4,0 m im Trockenen einschließlich Rückbau der Fangedämme in den Häuptern
- Häupter
  - Einbau der 2. Verankerungslage für Baugrubenwände Häupter auf NHN -3,5 m

9.2.6 **Bauphase 5**

- Grundwasserabsenkung hinter den Seitenwänden auf NHN -4,0 m
- Häupter:
  - Wasserhaltung innerhalb der Auffüllung auf NHN- 8,50 m
  - Aushub und Abbruch Häupter bis NHN -8,0 m im Trockenen im Bereich der Baugrubenwände
  - Einbau der 3. Verankerungslage für die Baugrubenwände der Häupter auf NHN -7,50 m im Trockenen

9.2.7 **Bauphase 6**

- Grundwasserabsenkung hinter den Seitenwänden weiterhin auf NHN -4,0 m

- Flutung der gesamten Baugrube auf ca. NHN ±0,0 m bzw. auf den Wasserstand des NOK.
- Öffnung des binnenseitigen Fangedamms für Schuten
- Häupter:
  - Abbruch der kompletten Häupter unter Wasser einschließlich vollständigen Rückbaus der Fangedämme in den Häuptern sowie Nassaushub bis NHN -17,70m
- Kammer:
  - Abbruch der kompletten Seitenwände, Mittelwand und Sohle in der Kammer unter Wasser sowie Nassaushub bis NHN -15,70 m.
- Einbau der Spundwände zwischen Kammer und Häupter

9.2.8 **Bauphase 7**

- Grundwasserabsenkung hinter den Seitenwänden weiterhin auf NHN -4,0 m
- Häupter:
  - Einbau der Ausgleichsschicht, OK NHN -16,90 m
  - Einbau der Rückverankerung für die Unterwasserbetonsohle
  - Einbau der Unterwasserbetonsohle, OK NHN -15,20 m
- Kammer:
  - Einbau der Ausgleichsschicht, OK NHN -14,90 m
  - Einbau der Rückverankerung für die Unterwasserbetonsohle
  - Einbau der Unterwasserbetonsohle, OK NHN -13,20 m

9.2.9 **Bauphase 8**

- Verschluss der Öffnung im binnenseitigen Fangedamm
- Lenzung der gesamten Baugrube
- Herstellung der Stahlbetonkonstruktion Häupter und Kammer
- Abtrennen der Spundwände zwischen Kammer und Häuptern
- Verfüllung der Arbeitsräume
- Außerbetriebnahme GW-Absenkung hinter den Seitenwänden nach Fertigstellung der Sohlen und Wände und Baugrubenverfüllung bis ca. - 4,0 m
- Bei Bedarf Leitungsumverlegung vom fördeseitigen Fangedamm in die neuen Düker in Außenhaupt und Binnenhaupt
- Herstellung des Leitstandgebäudes

- Rückbau der restlichen Leitwerke
- Baggerung der Sohle in den Vorhäfen (nicht Bestandteil dieser Planung)

9.2.10 **Bauphase 9**

- Rückbau des binnenseitigen Fangedamms, abschnittsweise einschließlich Aushub der Verfüllung und Rückbau der Sandcontainer aus der Sicherungsmaßnahme
- Montage des Stahlwasserbaus
- Installation der Steuerungs- und Antriebstechnik
- Rückbau des fördeseitigen Fangedamms einschließlich Aushub der Verfüllung und Rückbau der Sandcontainer aus der Sicherungsmaßnahme
- Verankerung der Flügelwände
- Neubau der Leitwerke
- Inbetriebnahme der Schleuse
- Probebetrieb

9.3 **Bauzeit**

Die Bauzeit verlängert sich gegenüber der Variante K5 aus der Machbarkeitsstudie [13] um ca. 5 Monate. Ursache dafür ist die Schleusenverlängerung um ca. 36,5 m und die damit verbundenen Mehraufwendungen für die Bohrpfahlwände, Unterwasserbetonsohle und den Massivbau.

Aus der geänderten Konzeption des Stahlwasserbaus ist keine maßgebliche Veränderung der Bauzeit zu erwarten. Bedingt durch die erhöhte Anzahl an Toren und Einbauteilen ergibt sich im Allgemeinen ein größerer Aufwand für den Einbau und die Montage. Im Vergleich zur Konzeption der Machbarkeitsstudie sind die durchzuführenden Montage- und Einstellarbeiten von einer geringeren Komplexität. Die Herstellung des Stahlwasserbaus kann ggf. gleichzeitig parallel an mehreren Häuptern erfolgen.

Es ist von einer Bauzeit von ca. 4 Jahren und 6 Monaten bei ungestörtem Verlauf der Arbeiten auszugehen.

10 KOSTENSCHÄTZUNG

Gemäß Kostenschätzung ergeben sich folgende Baukosten zzgl. gesetzlicher Mehrwertsteuer:

Sensitivitätsbetrachtung (Variante K5): rd. 241 Mio. €

In den Baukosten sind 3% der Bausumme für die Technische Bearbeitung durch die Baufirma (Ausführungsplanung) enthalten. Nicht enthalten sind folgende Kosten

- Kosten für Grunderwerb, Erschließung, Ausgleichsmaßnahmen
- Baunebenkosten (Planung, Fachgutachter, Bauüberwachung usw.)
- Kosten für ein zusätzliches (d.h. zweites) Reservetor
- Kosten für die Rolldammbalken des Notverschlussystems
- Kosten für den späteren Ausbau T(Ausbau)
- Mögliche Zusatzmaßnahmen, die aufgrund der noch zu erstellenden Fachgutachten (u.a. Baugrund, Kampfmittel, Schadstoffe, Hydraulik, Nautik, Genehmigung) erforderlich werden und zu geänderten Kosten führen können.

Gegenüber der Machbarkeitsstudie erhöhen sich die Kosten um ca. 11 % bzw. ca. 24 Mio. € (netto). Ursache dafür ist die Schleusenverlängerung um ca. 36,5 m und die damit verbundenen Mehraufwendungen für die Bohrpfahlwände, Unterwasserbetonsohle und den Massivbau sowie die geänderte Konzeption des Stahlwasserbaus.

Die Gesamtmaßnahme wurde in einzelne Bauteile (BT) gegliedert. Nachfolgende Tabelle zeigt die Verteilung der Kosten auf die einzelnen Bauteile. Zum Vergleich werden in der Tabelle auch die Kosten der Vorzugsvariante aus der Machbarkeitsstudie dargestellt:

Titel	**Titel**	Machbar-keitsstudie 02/2016, K5	**Sensitivitäts-betr. 01/2018**
1.	Allgemeine Leistungen	29,40	33,48
2.	Vorbereitende Arbeiten	1,70	1,70
3.	Erdarbeiten / Nassbaggerarbeiten	3,08	4,37
4.	Wasserhaltungsarbeiten	1,53	1,53
5.	BT 1.1: Außenhaupt - Baugrube	20,12	19,96
6.	BT 1.2: Außenhaupt - Massivbau	11,07	12,55
7.	BT 2.1: Binnenhaupt - Baugrube	19,98	19,81
8.	BT 2.2: Außenhaupt - Massivbau	11,07	12,55
9.	BT 3: Kammerwand Süd	7,97	9,38
10.	BT 4: Kammerwand Nord	7,97	9,38
11.	BT 5: Kammern Mittelwand	22,04	24,23
12.	BT 6: Kammern Unterwasserbetonsohle	8,74	10,69
13.	BT 7: Ufersicherung Ostsee-seitig	2,00	2,00
14.	BT 8: Ufersicherung NOK-seitig	2,00	2,00
15.	BT 9: Stahlwasserbau	31,25	37,44
16.	BT 10: E- und Steuerungstechnik / TA	3,26	3,26
17.	BT 11: Hochbauten (Leitstand+Masch.K.2)	1,28	1,82
18.	BT 12: Leitwerke	11,76	11,76
19.	BT 13: Wege und Flächen	1,34	1,34
20.	BT 14: Ver- und Entsorgungstrassen	0,25	0,25
	Zuschlag Risiken / Erschwernisse ca. 10%	19,19	21,94
	Baukosten, netto	217,00	**241,45**
	Mehrwertsteuer, aktuell 19%	41,23	45,88
	Baukosten, brutto	258,23	**287,33**

11 SONDERTHEMEN UND WEITERER UNTERSUCHUNGSBEDARF

Die in der Machbarkeitsstudie [13] aufgeführten Sonderthemen und Hinweise zum weiteren Untersuchungsbedarf behalten weiterhin ihre Gültigkeit.

Die Risiken für den Stahlwasserbau im Hinblick auf mögliche Schiffsanfahrungen der Tore und Ausfall von Antrieben werden im Kap. 6 abgehandelt.

Aus dem Schleusungsbetrieb ergeben sich die im Folgenden genannten, grundsätzlichen Risiken für den Stahlwasserbau

- **Schiffsanfahrung der Tore**

Eine Anfahrung der geschlossenen Stemmtore durch ein in die Schleusenkammer einfahrendendes Schiff kann grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden. Ein begrenzter Schutz der Tore in den Fällen einer Anfahrung mit geringer Stoßenergie wird durch das Betriebskonzept erreicht, welches vorsieht, die innenliegenden (nicht unter Stau stehenden) Tore vor jeder Schiffseinfahrt zu schließen.

Bei einer Anfahrung der Tore mit großer Stoßenergie (z.B. Schiff mit hoher Masse und Geschwindigkeit) kann eine Beschädigung und ggf. Versagen des Tores nicht verhindert werden. Für diesen Fall wird als Sicherheitskonzept der Schleuse ein separates Notverschlusssystem vorgesehen, welches auch bei einer durchströmten Schleusenkammer gesetzt werden kann.

- **Ausfall von Antrieben**

Während des Schleusenbetriebes können ggf. unterschiedliche Komponenten der Antriebssysteme ausfallen. Um in dieser Situation einen Stillstand der Schleuse zu vermeiden, werden die relevanten Komponenten der Antriebsaggregate entsprechend redundant ausgeführt. So können beispielsweise die Tore bei Ausfall einer Hydraulikpumpe mittels der 2. Hydraulikpumpe noch mit verminderter Geschwindigkeit weiter gefahren werden. Die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls der Hydraulikzylinder wird als sehr gering angesehen. Um jedoch auch in diesem Falle die Schleuse wieder zeitnah in Betrieb zu setzen, ist die Vorhaltung von entsprechenden Ersatzteilen vorgesehen.

Wie in Kap. 7.2 angegeben, ist im Zuge der weiteren Planungen die Elektro- und Steuerungstechnik an das geänderte Torkonzept anzupassen.

12 ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNG

In der Sensitivitätsbetrachtung wurden die Auswirkungen auf die Planung der Machbarkeitsstudie aufgrund des anzusetzenden Prognosewertes für den Meeresspiegelanstieg von +1,74 m im Jahr 2100 untersucht.

Die bauliche Umsetzung des Ersatzneubaus soll zunächst für die bisher angesetzten Wasserstände (T0) erfolgen. Dabei wird eine Ausbaureserve für den o.g. Prognosewert (T2100) planerisch berücksichtigt.

Die Sensitivitätsbetrachtung kommt zu folgenden Ergebnissen:

- Aufgrund der signifikant erhöhten Wasserstandsunterschiede kann das inverse Stemmtor nicht mehr als Zielvariante gewählt werden. Es wird der Einsatz von doppelkehrenden Stemmtoren empfohlen.
- Die Bauweise der Häupter und Kammer als massive Stahlbetonkonstruktion bleibt unverändert. Die zusätzlichen Lasten für die Ausbaureserve können über zusätzliche Bewehrung in den Wänden und der Sohle aufgenommen werden. Eine Erhöhung der Bauteildicken ist nicht erforderlich.
- Bei Beibehaltung der Nutzlänge von 155 m ist die Schleuse aufgrund des geänderten Torsystems um 36,5 m zu verlängern.
- Die Baugrube wird entsprechend um 21,5 m in Richtung NOK und um 15 m in Richtung Kieler Förde verlängert.
- Im Szenario T2100 steht fördeseitig permanent ein höherer Wasserstand an. Für den Fall einer Havarie und Leckage des Fluttores ist ein Notverschlussystem erforderlich, um den NOK und die angrenzenden Niederungen vor einer Überflutung zu schützen. Als Notverschlussystem wird die Anordnung von „Rolldammbalken“ empfohlen.
- Für den Ausbauzustand T2100 können die Planie, die Schleusentore und die Adapterkonstruktion für die Revisionsverschlüsse konstruktiv aufgehöht werden.

Das Ergebnis der Sensitivitätsbetrachtung basiert auf vorläufigen Annahmen, insbesondere zum Baugrund und zur Geohydraulik. Für die weitere Planung sind Untersuchungen und Fachgutachten erforderlich (vgl. Machbarkeitsstudie Kap. 12.5), deren Ergebnisse zu Änderungen in der Planung und der Kosten führen können.

Im Rahmen der Sensitivitätsbetrachtung wurden die Auswirkungen eines beschleunigten Meeresspiegelanstieges auf den Massivbau, den Stahlwasserbau sowie die Erneuerung der Maschinentechnik untersucht und entsprechende Ausbaureserven ermittelt. Eine wesentliche Änderung stellt das geänderte Torsystem dar. Das Planungskonzept für die Gesamtschleuse bleibt ansonsten bestehen. Durch die Ausbaureserve können spätere Anpassungen des Schleusenbauwerks an einen mög-

licherweise beschleunigten Meeresspiegelanstieg mit vertretbarem Aufwand realisiert werden.

Hamburg, den 09.02.2018

Dipl.-Ing. H. Sunderdiek	Dr.-Ing. U. Jäppelt
(Projektleiter)	(Geschäftsführer)

Bearbeiter:

Dipl.-Ing. H. Sunderdiek (WTM)

Dipl.-Ing. T. Sattler (IRS)

ZEICHNUNGSLISTE

Nr.	Inhalt	Maßstab
	Massivbau	
B-2-B01-UE-0200	Bauteilkatalog (T0)	1:1000
B-2-B01-GR-0201	Massivbauwerk (T0) Draufsicht, Längs- u. Querschnitt	1:200
B-2-B01-GR-0202	Massivbauwerk Ausbauzustand (T2100) Draufsicht, Längs- u. Querschnitt	1:200
B-2-B01-BG-0203	Übersicht Bauzustand (T0) Baugrube - Variante K5	1:500
B-2-B01-BG-0204	Übersicht Endzustand (T0) Massivbauwerk - Variante K5	1:500
B-2-B01-BP-0205	Bauphasenplan (T0), Bauphase 0 bis 2	1:1000
B-2-B01-BP-0206	Bauphasenplan (T0), Bauphase 3 bis 5	1:1000
B-2-B01-BP-0207	Bauphasenplan (T0), Bauphase 6 bis 7	1:1000
B-2-B01-BP-0208	Bauphasenplan (T0), Bauphase 8 bis 9	1:1000

Stahlwasserbau / Antriebe		
B-2-B02-LS-0025	Lastenplan - Einfach kehrendes Stemmtor	1:100
B-2-B02-UE-0021	Übersicht - Einfach kehrendes Stemmtor (T=0)	1:100
B-2-B02-UE-0022	Schnitte und Details - Einfach kehrendes Stemmtor (T=0)	1:50
B-2-B02-UE-0023	Übersicht - Einfach kehrendes Stemmtor (T=2100)	1:100
B-2-B02-UE-0024	Schnitte und Details - Einfach kehrendes Stemmtor (T=2100)	1:50
B-2-B02-UE-0025	Übersicht - Einfach kehrendes Stemmtor - Gegenüberstellung (T=0_2100)	1:50
B-2-B02-UE-0030	Übersicht - Revisionsverschluss (T=0)	1:100
B-2-B02-UE-0031	Übersicht - Revisionsverschluss (T=2100)	1:100
B-2-B02-UE-0033	Übersicht - Schwimmfender	1:20
B-2-B02-UE-0034	NV-V1-Rolldammbalken (T=0)	1:50
B-2-B02-UE-0035	NV-V1 - Rolldammbalken (T=2100)	1:50
B-2-B02-UE-0036	NV-V1- Rolldammbalken-Prinzipzeichnung Einbau	1:100
B-2-B02-UE-0037	NV-V2-Notverschlusstor	1:50
B-2-B02-UE-0038	NV-V3-Notverschlussponton	1:100

QUELLENANGABEN

[1] WSA Kiel Holtenau : Aufgabenstellung zum Teil B Machbarkeitsstudie, Anlage 2.2 zum Ingenieurvertrag

[2] BAW: Zustandsgutachten zur Alten Schleuse Kiel-Holtenau (BAW-Nr. A395 101 10257, aufgestellt 16.04.2014) fdf

[3] WTM Engineers: Sicherungsmaßnahmen Alte Schleusen Kiel-Holtenau, Vorplanungsbericht (Nov. 2014)

[4] WSA Kiel Holtenau, Fachstelle Maschinenwesen Nord: Anlageninspektion 2013 über die Kleine Schleusen Kiel-Holtenau, Az.:252.2/950-04-10

[5] WSA Kiel Holtenau: Konzeption gem. VV-WSV 2107, §6 (3) für die Grundinstandsetzung der Schleusenanlage Kiel Holtenau (Sept. 2012)

[6] WSA Kiel Holtenau, ABz Kiel-Holtenau: Prüfbericht Schiffsschleusenanlage Alte Schleuse Kiel-Holtenau Verschlusskörper, Schleusenverschlüsse, Berichtsnummer 2014-0013 bis 2014-0079

[7] WSA Kiel Holtenau, ABz Kiel-Holtenau: Prüfbericht Schiffsschleusenanlage Alte Schleuse Kiel-Holtenau Verschlusskörper, Umlaufverschlüsse, Berichtsnummer 2014-0110

[8] BAW: Geotechnische Bemessungsprofile und Bauteilwiderstände für Sicherungsmaßnahmen und für die Machbarkeitsstudie zur Grundinstandsetzung (BAW A39550110387, aufgestellt 03.12.2014)

[9] IGB Ingenieurgesellschaft mbH: Geohydraulische Untersuchung im Rahmen einer Machbarkeitsstudie, aufgestellt 09/2015

[10] BAW-HH: Neubau eines Leitungsdükers Schleusenanlage Kiel Holtenau - Geotechnischer Untersuchungsbericht (Az 2-231.2NSHo/32 vom 12.06.2009)

[11] BAW: Stellungnahmen zu Auswirkungen von Erschütterungen aus Ramm- und Bauarbeiten (R. Zierach vom 07.05.2015)

[12] BAW-K: Weiternutzung der vorhandenen Sohle (BAW-Nr. A39510110257 vom 23.02.2015)

[13] WTM/IRS: Machbarkeitsstudie - Grundinstandsetzung Alte Schleuse Kiel-Holtenau, (aufgestellt 29.02.2016)

[14] WTM/IRS: Ergänzung zur Machbarkeitsstudie - Grundinstandsetzung Alte Schleuse Kiel-Holtenau, (aufgestellt 29.11.2016)

[15] WSA Kiel Holtenau: Entwurf-HU zum Ersatz der beiden Kleinen Schleusenkammern in Kiel-Holtenau

[16] BSH: Aktuelle Kenntnislage zum Meeresspiegelanstieg (Vermerk BSH/2247-Meeresspiegel/2017-M2 vom 17.03.2017)

[17] BMVI, Abteilung WS: Kenntnislage zum Meeresspiegelanstieg – Bericht über aktuelle Literaturrecherchen (WS24/6241.1/18 vom 08.06.2017)

[18] BMVI: Sensitivitätsbetrachtung zur vorhandenen Vorplanung aufgrund neuer Informationen zum Meeresspiegelanstieg (Schreiben zur Vorgehensweise vom 21.07.2017)

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Gegenüberstellung Wasserstände T0 und T2100 7

Abbildung 2: Verschlussvariante „Inverses Stemmtor“ 12

Abbildung 3: Verschlussvariante „ 2 A)“ 14

Abbildung 4: Verschlussvariante „ 2 B)“ 15

Abbildung 5: Verschlussvariante „ 2 C)“ 15

Abbildung 6: Verschlussvariante „Doppelkehrende Stemmtore“ 16

Abbildung 7: Doppelkehrende Stemmtore – Phase Ersatzneubau (T0) 18

Abbildung 8: Doppelkehrende Stemmtore – Phase Ausbaustufe (T(Ausbau) 18

Abbildung 9: Verschlussvariante „Drehsegmenttor mit vertikaler Achse“ 19

Abbildung 10: Verschlussvariante „Drehsegmenttor mit horizontaler Achse“ 20

Abbildung 11: Prinzipskizze „Nottor“ 24

Abbildung 12: Prinzipskizze „Notverschlussponton“ 25

Abbildung 13: Prinzipskizze „Rolldammbalken“ 26

Abbildung 14: Massivbau Häupter (T0) 29

Abbildung 15: Hochwasserschutz Schleuse (1. Deichlinie rot; 2. Deichlinie grün) 32

Abbildung 16: Hochwasserschutzlinie im Außenhaupt 32

Abbildung 17: Schleusungsvorgang - Ausgangspunkt 34

Abbildung 18: Schleusungsvorgang – Start Schleusungsvorgang 34

Abbildung 19: Schleusungsvorgang – Pegelausgleich 35

Abbildung 20: Schleusungsvorgang – Ende Schleusungsvorgang 35

Abbildung 21: Schleusungsvorgang – Start Schleusungsvorgang – Bild anpassen 36

Abbildung 22: Schleusungsvorgang – Start Schleusungsvorgang – Bild anpassen 37

Abbildung 23: Stemmtor Ersatzneubau (T0) 38

Abbildung 24: Stemmtor Ausbauzustand (T2100) 39

Abbildung 25: Erhöhung des Revisionsverschlussadapters 40

Abbildung 26: Erhöhung der vorh. Revisionsverschlusskonstruktion 41

Abbildung 27: Prinzipskizze zum Einbau des Notverschlusses 42

ANLAGEN

Anlage 1 Lastenheft

Anlage 2 Statische Berechnungen
2.1 Massivbau – Ausbaureserve
2.2 Stahlwasserbau

Anlage 3 Kostenschätzung

Anlage 4 Bauzeitenpläne

Anlage 5 Zeichnungen