PRÜFGEMEINSCHAFT

König und Heunisch
Planungsgesellschaft

Prüfer
Dr.-Ing. Dieter Pommerening
Stresemannallee 30, 60596 Frankfurt

Telefon 0 69 / 63 00 08-0
Telefax 0 69 / 63 00 08-66

Wasser- und Schifffahrtsamt
Kiel-Holtenau
23. DEZ. 2015

schömig
INGENIEURE

Prüfingenieurin
Dipl.-Ing. Ulrike Schömig
Saaläckerstraße 8, 63801 Kleinostheim

Telefon 0 60 27 / 5 04-0
Telefax 0 60 27 / 5 04-1 00

22.12.2015

Wasser- und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau
Schleuseninsel 2

24159 Kiel

Prüfbericht Nr. GI-MBSt-001

1. Betreff

Prüfauftrag vom:	06.08.2014 (Auftragsschreiben)
Ihr Zeichen:	2014-231.2ModS/7
Unsere Prüfnummer:	140179
Unser Zeichen:	Pm/Hat
Bauvorhaben:	Sicherung und Machbarkeit Grundinstandsetzung Alte Schleusen NOK-Kanal Kiel-Holtenau
Bauherr:	Wasser-und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau Schleuseninsel 2,24159 Kiel
Entwurfsverfasser:	Planungsgemeinschaft Kieler Schleusen - PKS aus: WTM und IRS Federführung WTM, Hamburg
Tragwerksplaner:	PKS aus: WTM und IRS Federführung WTM, Hamburg
Gegenstand der Prüfung:	**Massivbau – Vorstatik Vorzugsvarianten**

2. Prüfunterlagen

B: Massivbau – Vorstatik Vorzugsvarianten
Machbarkeitsstudie Alte Schleuse Kiel-Holtenau
Statische Berechnung, Vorstatik, Tiefbau / Massivbau

- Deckblatt,
- Seite(n) I-IV, 1 bis 93,
- Anhang A: Nord- und südseitige Baugrubeneinfassung A.1 bis A.47,
- Anhang B: Kammerabgewandte Baugrubeneinfassung/Fangedamm B.1 bis B.16,
- Anhang C: Kammerseitige Baugrubeneinfassung für Variante mit Bohrpfahlwand und UWB-Sohle C.1 bis C.14
- Anhang D: Kammerseitige Baugrubeneinfassung für Variante mit U-Rahmen D.1 bis D.16,
- Anhang E: Südseitige Schleusenkammerwand als Bohrpfahlwand mit UWB-Sohle E.1 bis E.87,
- Anhang F: Süd- und nordseitige Schleusenkammerwand als Bohrpfahlwand mit UWB-Sohle im Bereich des Dükers F.1 bis F.64,
- Anhang G: Südseitige Baugrubenwand der Schleusenkammer für Variante mit U-Rahmen G.1 bis G.39,
- Anhang H: Süd- und nordseitige Baugrubenwand der Schleusenkammer für Variante mit U-Rahmen im Bereich des Dükers H.1 bis H.133,
- Anhang I: Flügelwände I.1 bis I.41,
- Anhang J: Südseitige Schleusenkammerwand der U-Rahmen-Variante J.1 bis J.17,
- Anhang K: Massivbau des Außenhauptes K.1 bis K.11,
- Anhang L: Schleusenmittelwand als Bohrpfahlwand mit UWB-Sohle L.1 bis L67,
- letzte Seite

Informativ:

- Machbarkeitsstudie (Version 1.2) – Stand 04.11.2015, Seite(n) 1-134
- Anlage 1 zur Machbarkeitsstudie - Variantenuntersuchung zum Massivbau, (Version 1.0) – Stand 30.10.2015, Seite(n) 1-34
- Planunterlagen:
- B-2-B01-AS-0006_Varianten_K1_bis_K5
- B-2-B01-BG-0012_Baugrube_u_Gruendung_Bauzustand_K2_BPW
- B-2-B01-BG-0013_Baugrube_u_Gruendung_Endzustand_K2_BPW
- B-2-B01-BG-0014_Baugrube_u_Gruendung_Bauzustand_K5_Rahmenkonstr
- B-2-B01-BG-0015_Baugrube_u_Gruendung_Endzustand_K5_Rahmenkonstr

3. Baubeschreibung

Die alte (kleine) Doppelschleuse Kiel-Holtenau am östlichen Ende des Nord-Ostsee-Kanals aus dem Jahre 1895 wurde in Schwergewichtsbauweise komplett monolithisch errichtet und lässt sich in die Bauteile Außenhaupt, Binnenhaupt, nördliche Schleusenkammerwand, südliche Schleusenkammerwand, Mittelmauer und Sohle unterteilen. Aus den als Massivbauteile noch vorhandenen Mittelhäuptern, die die Kammern in Außen- und Binnenkammern teilen, wurden die Mitteltore bereits seit den 1920er Jahren entfernt. In den Außen- und Binnenhäuptern sind jeweils Stemmtorpaare angeordnet.

Der schlechte bauliche Zustand der Bestandskammern macht eine Grundinstandsetzung der beiden alten Kammern erforderlich.

Im Zuge der Untersuchungen wurde durch die PKS festgestellt, dass eine Grundinstandsetzung durch Ertüchtigung der Bestandskonstruktion nur mit umfangreichen

Maßnahmen möglich ist. Daher wird im Rahmen der Machbarkeitsstudie auch eine Grundinstandsetzung mit neuen Bauteilen untersucht.

Die statischen Untersuchungen zur Machbarkeitsstudie der Grundinstandsetzung der Alten Schleusen Kiel-Holtenau umfassen für jedes Bauteil mehrere Varianten. Gegenstand der Prüfung sind die statischen Berechnungen der Vorzugsvarianten der Kammer K2 (Bohrpfahlwand mit Vorsatzschale und UWB-Sohle) und K5 (U-Rahmen), sowie zu den Häuptern.

Die **Häupter** werden in jedem Fall als monolithischer Rahmen in Massivbauweise in jeweils einer trockenen Baugrube erstellt. Die „landseitigen" (nördlichen und südlichen) Seitenwände der Baugruben werden als mehrfach rückverankerte Bohrpfahlwände, die wasserseitige Baugrubeneinfassung als Fangedamm ausgeführt. Fördeseitig wird der Fangedamm überfahrbar und hochwassersicher erstellt, die Ausführung der kammerseitigen Baugrubeneinfassung wird variiert. Die Baugrubensohle wird als rückverankerte Unterwasserbetonsohle ausgeführt.

Kammer Variante K2:
Die Kammerwände werden mit einlagig rückverankerten Bohrpfahlwänden mit einer Vorsatzschale aus Stahlbeton ausgebildet. Die Mittelwand ebenso, allerdings wird die Verankerung der beiden Innenwände wie bei einem Fangedamm kurzgeschlossen Die Füllung der Konstruktion besteht aus der bestehenden Massivbau-/Mauerwerkskonstruktion. Die Sohle wird als dauerhaft rückverankerte Unterwasserbetonsohle erstellt.
Zwischen Kammer und Häuptern wird quer zur Schleusenachse eine verankerte Spundwand vorgesehen, die der Sicherung / Abfangung des Höhensprungs in der Sohle dienen soll.

Kammer Variante K5:
Die Kammer wird als monolithischer Stahlbeton-U-Rahmen im Schutz einer Baugrube hergestellt. Die Baugrubenwände auf Nord- und Südseite werden als einfach rückverankerte Bohrpfahlwände ausgebildet. Zum Lenzen der Baugrube wird eine rückverankerte Unterwasserbetonsohle angeordnet. An den Stirnseiten zu den Häuptern wird eine frei auskragende Trennspundwand ausgeführt.

Die Verankerungen erfolgen über Mikropfähle. Diese werden weitest möglich im Schmelzwassersand angeordnet, Die maximale Länge des Verpresskörpers beträgt gemäß Zulassung 12m.

Die Rückverankerungen bei Fangedämmen erfolgt über Rundstahlanker

4. Lastannahmen

Siehe Lastenheft Grundinstandsetzung, Rev.0.3, Stand 30.01.2015
mit Prüfbericht GI-LH-002 vom 16.04.15

Weiterhin:
Für die Fangedämme werden großflächige Verkehrslasten mit 10kN/m² angesetzt. Für die Überfahrung mit einem 70to Fahrzeug ist ein Abstand von 4,50m zu den Spundwänden einzuhalten.

Für die seitlichen Bohrpfahlwände wird ein 50to-Fahrzeug im Abstand von 0,60m angesetzt.

5. Baustoffe

Stahlbeton (Kammer, Häupter)	C20/25, B500B
Bohrpfahlwände	C20/25, C30/37, B500B
Unterwasserbetonsohle	C20/25
Spundwände	S240 GP bis S430 GP
Verpressanker	St 1570/1770
Mikropfähle	nach Zulassung, (z.B. Gewi, Titan)
Rundstahlanker	S355
Profilstahl, -rohre	S235 bis S355

6. Baugrund und Grundwasserverhältnisse

Siehe Prüfbericht GI-LH-02
Ergänzend zu den Angaben im Lastenheft wird im Bauzustand von einer Grundwasserabsenkung teilweise auf -4,0m NHN ausgegangen.

7. Prüfbemerkungen

Zu Abschnitt 3.1.2:
Die Lageabweichung der Ansatzpunkte der Bohrpfählen (d=1,50m) wird mit 7,5cm angesetzt. Gemäß DIN 1536 beträgt die Lageabweichung 0,1*D=15cm. Für die Einhaltung der Lageabweichung sind entsprechende Maßnahmen vorzusehen (z. B. Bohrschablone).
Es wird von einer Mindestbauteilstärke der Vorsatzschale von 0,50 m ausgegangen

Zu Abschnitt 6
Bei den angegebenen Verankerungskräften ist zu beachten, dass die Verpresskörper über die angesetzte Länge auch tatsächlich im Schmelzwassersand liegen. Andernfalls sind die möglichen Verankerungskräfte geringer und entsprechend zu berücksichtigen.

Zu Abschnitt 7 - Außenhaupt
Die Nachweise der Seitenwände der Baugrubeneinfassung werden mit dem Bemessungsprofil 3 der Südseite geführt. Dieses unterscheidet sich im Wesentlichen durch die Schichten des Beckentons /-schluffs. Für die Machbarkeit liegt dieses Vorgehen auf der sicheren Seite.

Die Verpresspfähle der 2. Und 3. Lage liegen teilweise im Beckenton, bzw. im Geschiebemergel. Unter Annahme der in Abschnitt 6 verwendeten Mantelreibungswerte ergeben sich geringere aufnehmbare Ankerkräfte R_d. Damit können die ermittelten maximalen Einwirkungen E_d (Abschnitt 7.1.1) auf der Südseite teilweise nicht mehr nachgewiesen werden. Ggf. sind mehr Anker erforderlich. In Bezug auf die grundsätzliche Machbarkeit einer überschnittenen, rückverankerten Bohrpfahlwand bestehen jedoch keine Bedenken.

Fangedämme
Die Fangedämme werden unmittelbar außerhalb der Fangedämme der Sicherungsmaßnahme angeordnet. Hierbei ist darauf zu achten, dass der Abstand für die Herstellung der neuen und den Rückbau der alten Fangedämme ausreichend ist.

Fangedamm zur Ostsee
Der Fangedamm wird 2-fach verankert im Einfahrbereich vor dem Fangedamm der Sicherungsmaßnahme erstellt. Der Abstand der Spundwandachsen beträgt 17,50m. Die Höhen sind planlich nicht dargestellt und werden den Berechnungsschnitten der Anlage B, Seite B.2 und B.9 entnommen und als richtig vorausgesetzt.
Demnach werden beidseitig Spundwände gestellt und der Fangedamm ab der OK des Geschiebemergels auf -10,00 mNHN verfüllt. Die Bodenkennwerte der Auffüllung werden wie folgt angesetzt: φ=32,5°, γ/γ' = 18,5 / 9kN/m³.
Es ist vorgesehen den Fangedamm im Bauzustand mit dem Lenzen der Kammer auf -10mNHN zu entwässern/trocken auszuführen. Dies ist beim Lenzvorgang und während der Bauphase ständig zu gewährleisten, ggf. ist eine Überwachung sinnvoll. Die Auffüllung ist dementsprechend ausreichend durchlässig auszuführen und eine Drainage mit entsprechenden Öffnungen in der kammerseitigen Spundwand vorzusehen.
Die Nachweise für den baugrubenseitigen Aushub werden für das Bemessungsprofil 6 (Ostseite / Förde, Ostsee) geführt. Die Berechnungen des Aufstellers wurden durch unabhängige Vergleichsrechnung geprüft. Dabei ergaben sich kleinere Abweichungen bei den Ankerkräften, gegen die grundsätzliche Machbarkeit bestehen jedoch keine Bedenken.

Fangedamm zum NOK
Für den Fangedamm zum NOK wird kein gesonderter Nachweis geführt. Gemäß Lastenhaft steht im Bemessungsprofil 5 (Westseite NOK) zwischen -10,70 und -16,70 Beckenton /-schluff an. Dieser weist deutlich ungünstigere Eigenschaften auf, als der im Bemessungsprofil 6 (Ostseite / Förde, Ostsee) in dieser Höhe anstehende Geschiebemergel. Die Nachweise können Einfluss auf die Abmessungen des angegebenen Systems haben, und sollten im Zuge der weiteren Planungen ergänzt werden. Gegen die grundsätzliche Machbarkeit bestehen jedoch keine Bedenken.

Der Fangedamm soll im Bauzustand vorübergehend für die Durchfahrt von Schuten auf einer Breite von 15m bis zu einer Tiefe von -4,00mNHN geöffnet werden. Hierzu wird ca. 1m unter der Sohle der Öffnung eine zusätzliche dritte Ankerlage im Fangedamm angeordnet. Die Lasten der Seitenwände werden über Anker in rückversetzte Querschotte zurückgehängt. Der Fangedamm soll wieder verschließbar sein. Um den Fangedamm anschließend wieder auf das geplante Maß zu lenzen, ist darauf zu achten, dass die Anschlüsse beim Verschließen (unter Wasser) ausreichend dicht ausgeführt werden.

Zu Abschnitt 7.1.3 kammerseitige Baugrubeneinfassung
Für Variante K2 wird im Übergang Haupt-Kammer eine zurückgehängte Trennspundwand angeordnet. Die Anker verlaufen durch die komplette Kammerbaugrube und werden an der gegenüberliegenden Seite kurzgeschlossen. Die Länge beträgt demnach ca. 120m.
Für die Nachweise der Anker und der Gurtung muss die Durchbiegung (Seilwirkung) der Anker berücksichtigt werden, oder eine ausreichende Unterstützung der Anker vorgesehen werden (wie im Plan B-2-B01-BG-0012 angedeutet). Weiterhin können die Anker baubetrieblich problematisch sein. Es bestehen jedoch hinsichtlich der Machbarkeit keine Bedenken, dass der Höhenversprung durch geeignete Maßnahmen abgefangen werden kann.

Zu Abschnitt 7.2 und 8. Massivbau Häupter
Die Berechnungen des Aufstellers wurden durch unabhängige Vergleichsrechnung mit den angegebenen Lasten in der Statik geprüft. Gegen die grundsätzliche Machbarkeit bestehen keine Bedenken.

Zu Abschnitt 9 und 10 - Kammerwände
Die Nachweise der Kammerwände Nord werden mit dem Bemessungsprofil 3 der Südseite geführt. Dieses unterscheidet sich im Wesentlichen durch die Schichten des Beckentons /-schluffs. Für die Machbarkeit liegt dieses Vorgehen auf der sicheren Seite. Für die Dükerquerung erfolgt eine gesonderte Betrachtung

Abschnitt 10.1 – Bohrpfahlwand mit UW-Betonsohle
Im Bereich der Dücker müssen die seitlichen Bohrpfahlwände einen Mindestabstand zum Düker aufweisen und können daher nicht in der Länge der üblichen Wand ausgeführt werden. Hierzu werden die Vertikallasten über einen Kopfbalken auf die Nachbarpfähle abgetragen. Gegen die grundsätzliche Machbarkeit bestehen hier keine Bedenken.

Abschnitt 10.1 – Bohrpfahlwand für Baugrube U-Rahmen
Im Bereich des Dükers wird die Bohrpfahlwand als „weit spannendes" Gewölbe ausgebildet. Es wird angenommen, dass die vertikalen Lasten aus den Pfählen und dem Erddruck keine Auswirkungen auf den Düker haben. Die Nachweise hierzu sollten im Zuge der weiteren Planung geführt werden, da keine Abtragung der Vertikallasten über einen Kopfbalken wir in Variante K2 vorgesehen ist. Gegen die Machbarkeit bestehen keine Bedenken.

Zu Abschnitt 11 Mittelwand
Für die Mittelwand wird ein vom Aufsteller entwickeltes Baugrundprofil als Bemessungsprofil angenommen. Weiterhin wird für die verbleibende Bausubstanz zwischen den Bohrpfählen ein ingenieurmäßiger Ansatz für einen Ersatzreibungswinkel für die Standsicherheitsnachweise in der tiefen Gleitfuge verwendet. Der Ansatz ist plausibel. Gleiches gilt für das Bemessungsprofil. Die Machbarkeit ist für die Regelschnitte jedoch vorbehaltlich der richtigen o. g. Annahmen gegeben.
Ggf. könnte die Anordnung einer zweiten Ankerlage für eine stärkere Verspannung des Mauerwerks und einer günstigeren Nachweisgeometrie für den Nachweis in der tiefen Gleitfuge sorgen und damit zu einer Verbesserung der Tragfähigkeit beitragen.

Zu Abschnitt 12 – Kammersohle
Für die Rückverankerung werden die Durchmesser der Mikropfähle nicht angegeben. Es wird von einem Durchmesser d=0,25m ausgegangen.

Zu Abschnitt 12.1
In den Berechnungen zum Bemessungsprofil 2 wird als oberste Schicht Beckenton angesetzt. Dieser ist im Bemessungsprofil 2 des Lastenheftes nicht enthalten.
Die UW-Betonsohle wurde durch unabhängige Vergleichsrechnungen in den Regelbereichen / Häupter-Baugruben und im Dükerbereich geprüft. Gegen die Machbarkeit bestehen keine Bedenken.

Zu Abschnitt 13 – Gesamtstandsicherheit
Der Nachweis gegen Auftrieb ist nur für die Kammer geführt. Angesetzt wird ein Bemessungs-Grundwasserstand von 1,70mNHN. Die Ausnutzungsgrade sind sehr hoch.
Der Auftriebsnachweis für die Häupter wurde nicht geführt. Eigenen Berechnungen haben ergeben, dass auch hier die Ausnutzungsgrade sehr hoch sind, die Nachweise aber noch zu führen sind. Auf Grund der fehlenden Planungstiefe im Rahmen der Machbarkeit wurden Nischen und Hohlräume überschlägig angenommen. Ggf. werden zusätzliche Maßnahmen erforderlich, um die Auftriebssicherheit nachweisen zu können. Diese können jedoch erst bei Vorliegen detaillierterer Planungen erfolgen.
Eine Revision während eines Hochwassers (2,97mNHN) ist nicht ohne größere Maßnahmen möglich, sofern dies überhaupt erforderlich ist. Gegen die grundsätzliche Machbarkeit bestehen jedoch keine Bedenken.

Zu Abschnitt 14 – Flügelwände
Die Berechnungen des Aufstellers wurden durch unabhängige Vergleichsrechnung geprüft. Gegen die grundsätzliche Machbarkeit bestehen keine Bedenken.

8. Prüfergebnis

Im Rahmen der statischen Berechnungen der Machbarkeitsstudie werden für die Berechnungsgrundlagen vereinfachte Annahmen getroffen. Die bautechnische Prüfung bezieht sich auf die grundsätzliche Machbarkeit der Varianten K2 und K5. Detaillierungen und Optimierungen in konstruktiver und wirtschaftlicher Sicht obliegen der weiteren Planung und sind auch hier nicht Gegenstand der Prüfung. Weiterhin sind die vielfach getroffenen Annahmen im Rahmen der weiteren Planung zu konkretisieren bzw. verifizieren.

Besondere Beachtung sollten hierbei folgende Punkte finden:

- Ausbildung der Wandkonstruktionen im Bereich des Leitungsdükers
- Ausbildung der Mittelwand bei Weiterverfolgung der Variante K2
- Ausbildung der Öffnung des NOK-seitigen Fangedamms
- Bautechnische Durchführung der Bohrarbeiten, insbesondere beim Anschneiden der vorhandenen Seitenwände (Abdriften)
- Anpassung der Ankerlagen auf die entsprechenden Baugrundschichten
- Tatsächliche Lage der Verpresskörper der Anker nach Konkretisierung der Angaben zum Baugrund
- Bestätigung der geohydraulische Annahmen und der Machbarkeit der GW-Absenkung

Gegen die grundsätzliche Machbarkeit der Varianten K2 oder K5 bestehen bei Beachtung der Prüfanmerkungen keine Bedenken.

9. Sonstige Bemerkungen

Es ist zu empfehlen das Lastenheft fortzuschreiben. Neue Angaben/ Klärungen aus Schriftverkehr o. ä., vorläufige Annahmen zum Baugrund oder Grundwasser, zu Materialeigenschaften und diverse Stellungnahmen sollten in einem Dokument zusammengefasst werden. Die Angaben sollten hier sinnvoll einsortiert werden, um die Nachvollziehbarkeit und die Absicherung der Grundlagen sicherzustellen.

Prüfer
Dr.-Ing. D. Pommerening
- Fachrichtung Massivbau -

Prüfingenieurin
Dipl.-Ing. U. Schömig
- Fachrichtung Metallbau -

Verteiler:
WSA Kiel: 3 x
z. d. A. KHP: 1 x
z. d. A. SP: 1 x