

Grundinstandsetzung Alte Schleuse Kiel - Holtenau



Anlage 1 zur Machbarkeitsstudie

Variantenuntersuchung zum Massivbau

(Version 3.0) – Stand 29.02.2016

INHALTSVERZEICHNIS

1 Vorbemerkung3

2 Untersuchung zur Ertüchtigung der Bestandskonstruktion3

2.1 Auftriebssicherheit der vorhandenen Sohle.....4

2.2 Bauzeitliche Trockenlegung der Schleuse4

2.3 Ertüchtigung der Schwergewichtsmauer.....5

2.4 Statische Berechnung.....5

2.5 Fazit.....6

3 Untersuchung zur Nutzung der vorhandenen Sohle.....6

4 Variantenuntersuchung zur Schleusenammer12

4.1 Variante 1.1 –Spundwand und vorhandene Sohle 13

4.2 Variante 1.1a – Spundwand und Ertüchtigung der vorhandenen Sohle 14

4.3 Variante 2.1 – Bohrpfahlwand und vorhandene Sohle 15

4.4 Variante 3.1 – Massivbau und vorhandene Sohle..... 16

4.5 Variante 1.2 – Spundwand und Schüttsteinsohle 17

4.6 Variante 2.2 – Bohrpfahlwand und Schüttsteinsohle 18

4.7 Variante 3.2 – Massivbau und Schüttsteinsohle..... 18

4.8 Variante 1.3 – Spundwand und Unterwasserbetonsohle..... 19

4.9 Variante 2.3 – Bohrpfahlwand und Unterwasserbetonsohle20

4.10 Variante 3.3 – Massivbau und Unterwasserbetonsohle.....21

4.11 Variante 4.3 – Massivbau als Rahmen und Unterwasserbetonsohle.....22

4.12 Variantenkombinationen23

4.13 Bewertung der Variantenkombinationen26

4.13.1 Kriteriengruppe A: Bau/Bauablauf.....26

4.13.2 Kriteriengruppe B: Bauzeitliche Risiken27

4.13.3 Kriteriengruppe C: Auswirkungen der Baumaßnahme.....28

4.13.4 Kriteriengruppe D: Robustheit und Qualität.....29

4.13.5 Kriteriengruppe E: Kosten.....30

4.13.6 Ergebnis.....30

5 Untersuchung zur Baugrube der Häupter32

6 Quellenangaben.....33

7 Abbildungsverzeichnis34

8 Anlagen34

1 VORBEMERKUNG

Für die Grundinstandsetzung des Massivbaus werden folgende, grundsätzliche Optionen auf Ihre Machbarkeit hin untersucht:

- Grundinstandsetzung durch Ertüchtigung der Bestandskonstruktion
- Grundinstandsetzung durch Ersatzneubau einzelner Bauteile oder der gesamten Konstruktion

2 UNTERSUCHUNG ZUR ERTÜCHTIGUNG DER BESTANDSKONSTRUKTION

Für die Klärung der Möglichkeiten zur weiteren Verwendung der vorhandenen Bausubstanz werden Lösungsmöglichkeiten untersucht. Dabei sind die Häupter und die Kammer aufgrund unterschiedlicher Anforderungen gesondert zu betrachten.

Wesentliche Anforderungen an die Ertüchtigung der Schleusenammer sind die Herstellung einer dauerhaften, robusten Schleusenwand und der Nachweis der Standsicherheit für eine Nutzungsdauer von mindestens 100 Jahren.

Für die Häupter sind zusätzlich die zukünftigen Belastungen aus den neuen Toren und aus der erforderlichen Trockenlegung für Revisionen zu berücksichtigen.

Als Lösungsmöglichkeit wurde untersucht, ob die Herstellung einer Stahlbetonvorsatzschale, die in die verfüllten Betriebsgänge und Längskanäle der Bestandsschleuse rückverankert wird und die Herstellung lotrechter und/oder geneigter Gründungselemente zur Verbesserung der globalen Standsicherheit eine machbare Variante darstellt.

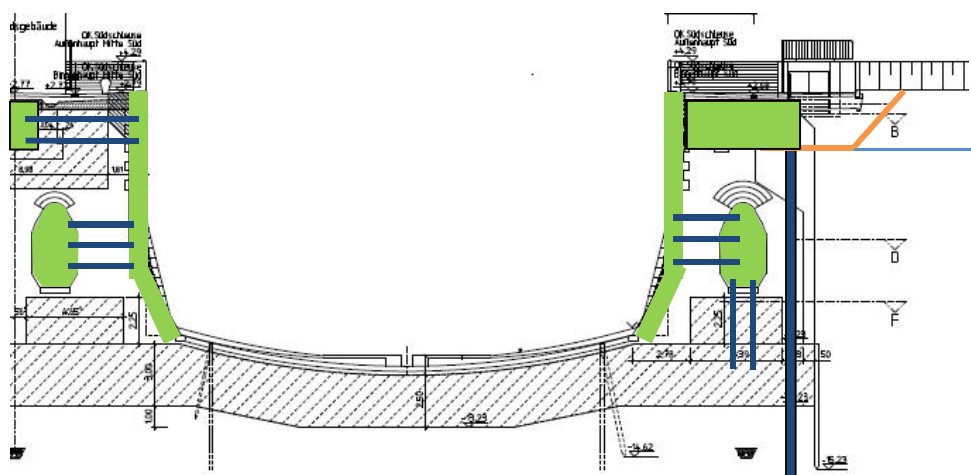


Abbildung 1: Prinzipskizze für eine Ertüchtigung

Grundvoraussetzungen für die Ertüchtigung des Bestandes unter Berücksichtigung der vorliegenden Planungsrandbedingungen sind, dass

- die Auftriebssicherheit der vorhandenen Sohle gegeben ist,
- die Ertüchtigung der Schwergewichtsmauer machbar ist,
- eine normengerechte statische Berechnung aufgestellt werden kann,
- die Trockenlegung der Kammer im Bauzustand machbar ist.

2.1 **Auftriebssicherheit der vorhandenen Sohle**

Die Auftriebssicherheit der vorhandenen Sohle ist bis zu einer Wasserspiegeldifferenz von 1,0m gegeben (siehe [3] Anlage 3, Vorstatik Kap. „Sohlen“). Dies würde im Bereich der Kammer zu einer dauerhaften Einschränkung des Betriebes führen. Im Bereich der Häupter ist die Auftriebssicherheit für den Lastfall Revision (Trockenlegung) nicht gegeben und stellt ein Ausschlusskriterium dar.

2.2 **Bauzeitliche Trockenlegung der Schleuse**

Für die Herstellung einer Stahlbetonvorsatzschale müsste die Schleuse vollständig gelenzt werden, um die Ortbetonarbeiten im Trockenen ausführen zu können.

Da die vorhandene Sohle für eine Trockenlegung nicht auftriebssicher ist, wäre eine Grundwasserabsenkung bis unter die Bauwerkssohle erforderlich. Die bei der Zustandsuntersuchung praktizierte Trockenlegung der Südkammer durch Abpumpen und Restwasserhaltung ist mit Vorlage der Untersuchungsergebnisse auf Grund des schlechten Bauwerkszustandes nicht mehr zulässig.

Im Rahmen der geohydraulischen Untersuchungen [9] wurden Varianten für eine Grundwasserabsenkung bis NHN -10,6m durch Anordnung einer Brunnenanlage untersucht. Die Untersuchung erfolgte auf Grundlage vorhandener Daten zum Baugrund und zur Hydrogeologie. Die Daten sind für eine zuverlässige Planung jedoch unzureichend und sind durch weitere Erkundungen zu ergänzen. Für die Machbarkeitsstudie wurde zunächst als Grenz Betrachtung vom ungünstigsten Fall ausgegangen (Modell 2), dass ein hydraulischer Kontakt zu den unteren, grundwasserführenden Schmelzwassersanden besteht. Bei Anordnung einer Brunnenanlage ohne die abmindernde Wirkung einer abschirmenden Spundwand wird eine zu fördernde Wassermenge von 950 m³/h geschätzt. Bei Berücksichtigung einer Spundwandumfassung beträgt die geschätzte Wassermenge 650 m³/h. Die rechnerische Reichweite der Absenkung liegt bei etwa 900m.

Die Förderung und Einleitung hoher Wassermengen und die große Reichweite der Absenkung hat Auswirkungen auf Natur und Umwelt. Die Machbarkeit wird im Hinblick auf die Genehmigungsfähigkeit und die technische Umsetzung als problematisch eingeschätzt.

2.3 Ertüchtigung der Schwergewichtsmauer

Grundvoraussetzung für den statischen Ansatz eines tragfähigen Mauerwerks ist ein monolithisch wirkender Baukörper.

Im Rahmen der Vorplanung zur Sicherungsmaßnahme wurde untersucht, ob es Verfahren zur Mauerwerkssanierung gibt, mit der ein statisch homogener Baukörper fachgerecht wieder hergestellt werden kann. Dabei ist zu beachten, dass es sich bei den Mauerwerksschäden um Abplatzungen der Mauerwerksschalen, um kluftige Risse, um versetzte Risse und um verzweigte, unregelmäßige Risse handelt. Anhand der Bohrungen konnten viele verschiedene Risstypen festgestellt werden. Es ist davon auszugehen, dass das Mauerwerkgefüge in der gesamten Bauteiltiefe geschädigt ist.

Rissverpressung:

Für eine Rissverpressung gibt es verschiedene Methoden: Hochdruck, Niederdruck, Mörtelinjektionen, Epoxidharz, Verpressschaum. Bei allen Methoden werden die Risse mit Packern verpresst, wobei die Risse gezielt unter ca. 45° angebohrt werden. Die Risse sind möglichst zu säubern und lose Teile sind zu entfernen. Beide Anforderungen können hier nicht erfüllt werden, weil nur kontrollierbare, bekannte Risse verpresst werden können. Die genaue Lage, die Größe und der Verlauf der Risse im Schleusenbauwerk sind aber nicht bekannt und auch durch weitere Untersuchungen nicht in Gänze verifizierbar.

Stabilisierung:

Bei der Stabilisierung durch Vernadelung handelt es sich überwiegend um eine mechanische Befestigung einer abgelösten Vorsatzschale oder um eine Überbrückung von Rissen in einer Vorsatzschale, wobei die beiden Rissufer zugfest miteinander verbunden werden. Ein kraftschlüssiges Wiederherstellen einer im Innern gerissenen, großformatigen Schwergewichtsmauer zu einem homogenen Baukörper ist mit dieser Methode aber nicht zielführend.

Ergebnis:

Eine fachgerechte Rissverpressung und Vernadelung zur Herstellung eines monolithisch wirkenden Baukörpers ist nicht machbar.

2.4 Statische Berechnung

In [2], S.15 wird darauf hingewiesen, dass die VV-WSV 2101 (2010) §4(1) von Bauwerken in der Unterhaltungslast der WSV eine Bestandsstatik verlangt. Da für öffentliche Gebäude kein Bestandsschutz gilt, ist unter Bestandsstatik

- eine entsprechend den Fortschreibungen der allgemein anerkannten Regeln der Technik bewertete Ursprungsstatik oder

- eine entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik erstellte, aktuelle Statik zu verstehen.

Da keine Ursprungsstatik vorliegt, ist eine aktuelle Statik entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik, d.h. nach den aktuell geltenden Regelwerken zu erstellen.

Statischer Ansatz der Verbundwirkung der Schwergewichtswände

Das Ziel der nichtlinearen Analyse in [1] lag u.a. darin, eine Begründung für die 120jährige Standzeit des Bauwerks zu ermitteln. So wurde beispielsweise die Haftzugfestigkeit senkrecht zur Lagerfuge angesetzt, die normativ explizit ausgeschlossen wird.

Im Rahmen einer Bestandsstatik kann aus folgenden Gründen die Haftscher- und Haftzugfestigkeit nicht angesetzt werden:

- Es ist von einer kompletten Schädigung der Wände auf der gesamten Bauteiltiefe auszugehen. In den Rissen selbst wirkt keine Haftscher- und Haftzugfestigkeit.
- Eine fachgerechte Rissverpressung und Vernadelung zur Herstellung eines monolithisch wirkenden Baukörpers ist nicht machbar.
- Der Ansatz der Haftzugfestigkeit ist nicht normativ geregelt.

Ein statischer Nachweis der Schwergewichtswände ist nicht möglich, da ein monolithisch wirkender Baukörper rechnerisch nicht angesetzt werden kann. Dies gilt sowohl für die Schleusenammerwände als auch für die zusätzlich durch Torlasten beanspruchten Wände der Häupter.

Stabilisierungsmaßnahmen wie die Herstellung einer Stahlbetonvorsatzschale und der Einbau lotrechter und/oder geneigter Gründungselemente führen nicht zu einer normengerechten Wiederherstellung der Tragfähigkeit. Die Grundvoraussetzung wäre ein monolithisch wirkender Baukörper. Dieser liegt aufgrund des Schadensbildes nicht vor.

2.5 **Fazit**

Eine Ertüchtigung der Bestandskonstruktion ist aus den vorgenannten Gründen nicht machbar und wird nicht weiter betrachtet.

3 **UNTERSUCHUNG ZUR NUTZUNG DER VORHANDENEN SOHLE**

Die Untersuchungen haben ergeben, dass die Schleusenwände nicht ertüchtigt werden können und die vorhandene Schleusensole nicht trocken gelegt werden kann.

Da für die Schleusenammer eine Trockenlegung für Revisionen nicht gefordert wird, werden für eine Grundinstandsetzung Lösungsmöglichkeiten untersucht, die den Neubau der Wände und eine Weiterverwendung der vorhandenen Sohle vorsehen. Nachfolgend wird eine Variante zur Grundinstandsetzung bei Erhalt von Sohle und Mittelwand beschrieben. Die Anforderungen an die Sohle und die noch benötigten Angaben für die weiteren Planungen werden aufgezeigt. Darüber hinaus werden Möglichkeiten zur Ertüchtigung in Kurzform beschrieben.

Es wird davon ausgegangen, dass eine Teilabsenkung bis ca. NHN-4,0m für die Herstellung der Betonholme möglich ist.

Eine Lösungsmöglichkeit für die Kammer wird als Variante 1.1 erarbeitet. Wesentliche Merkmale der Variante sind

- Überbauung der Mittelwand mit beidseitiger, durchgeankerter Spundwand
- Ersatz der Seitenwand durch eine rückverankerte Spundwand
- Betonholm mit Unterkante bei NHN -3,0m
- Stützung der Spundwände durch die vorhandene Sohle
- Abbruch der Sohle in den Randbereichen (min. bis auf -10,0m)
- Herstellung von Entspannungsöffnungen in der Sohle mit filterstabiler Verfüllung (Druckentspannung für Grundwasser, da Auftriebssicherheit nur für einen Wasserstandsunterschied von 1m gegeben ist)

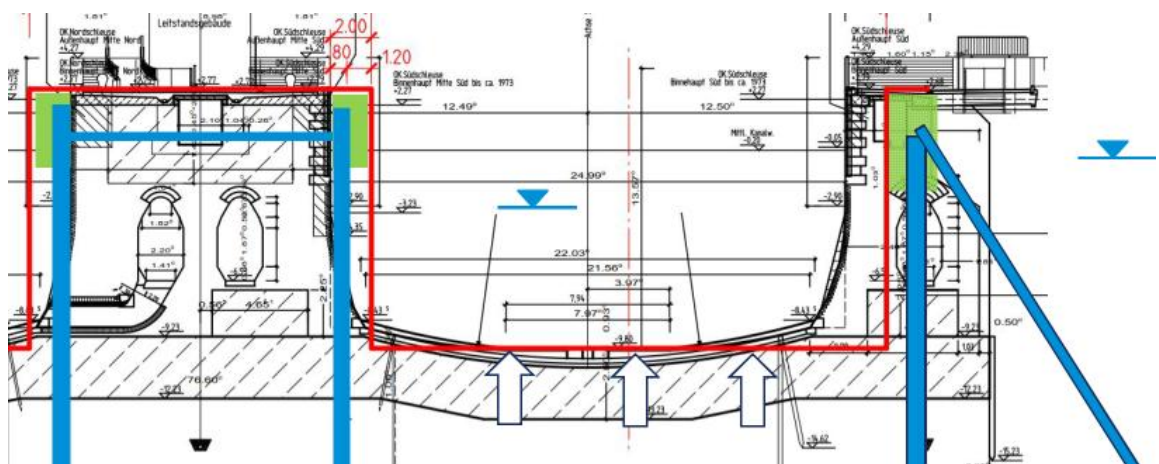


Abbildung 2: Prinzipskizze Variante 1.1

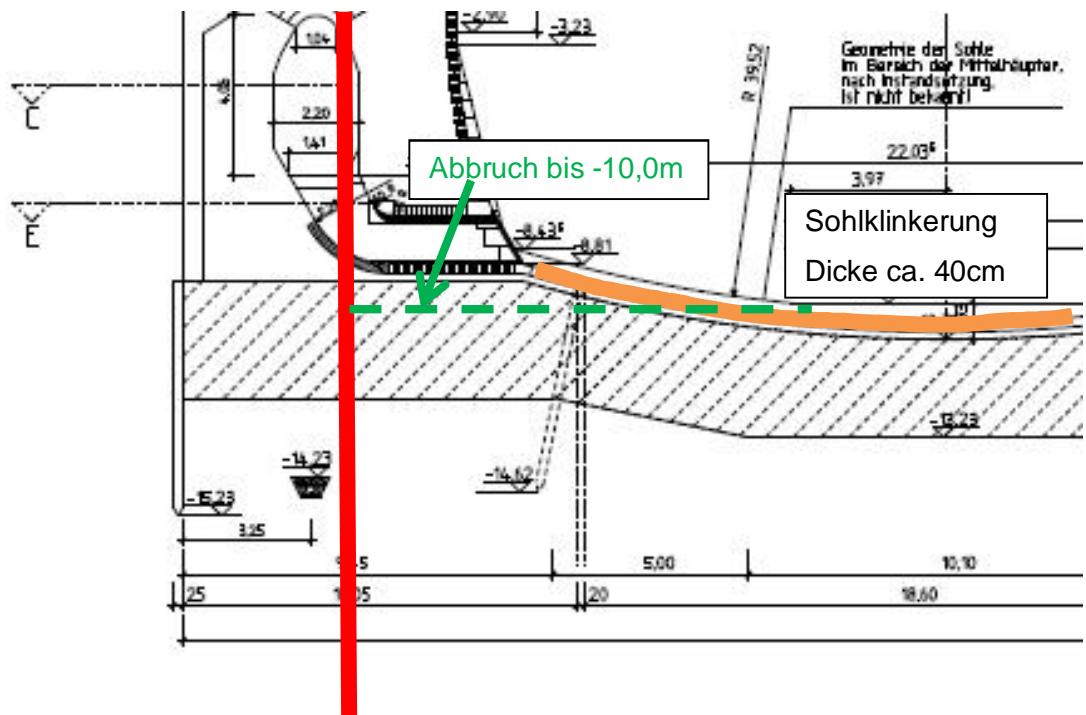


Abbildung 3: Detail Abbruch in Randbereichen

Anmerkungen zum Abbruch:

- Da eine bauzeitliche GW-Absenkung bis unterhalb NHN-10,0 m nicht ohne weiteres möglich ist, sind die Abbrucharbeiten unter Wasser auszuführen
- Sohlklinkerung (Dicke ca. 40cm) wird voraussichtlich über die Abbruchgrenze hinaus geschädigt
- Im Randbereich verbleibt die Betonsohle ohne oberseitige Verklinkerung

Anforderungen an die Betonsohle:

- Dauerhafte Stützung der Spundwände (Ansätze zur erforderlichen Festigkeit der Sohle, zur Geometrie und zur statischen Beanspruchung siehe Anlage 3 zur Machbarkeitsstudie, „Vorstatik Vorzugsvarianten“ Kap.9)
- Funktion der Entspannungsöffnungen muss kontrollierbar sein. Möglichkeit zur Ertüchtigung im Falle von Störungen muss gegeben sein

Vorliegende Informationen zum Sohlenbeton:

Angaben zum Zustand der Sohle enthält das „Teilgutachten Materialprüfungen Alte Schleuse Kiel-Holtenau“, BAW Karlsruhe, 1.12.1992. Untersucht wurde der Sohlenbeton in der Nord- und Südkammer sowie unterhalb der nördlichen und südlichen Seitenwände. Es erfolgte eine Einstufung in folgende Betonfestigkeitsklassen:

- Sohle unter nördl. Seitenwand: B 5
- Sohle unter südl. Seitenwand: B 10
- Sohle Nordkammer: B 5 (knapp erreicht)
- Sohle Südkammer: B 5

Angaben zum Zustand des Sohlbetons unter der Mittelwand enthält das „Gutachten zu Untersuchungen an Beton- und Mauerwerksbohrkernen“, BAW Karlsruhe, 12.12.2011. Dieser Bohrkern wurde im Rahmen der Baugrunduntersuchungen für den neuen Düker entnommen. Im Bereich der Sohle wurde „loser bzw. leicht vermörtelter Schotter“ angetroffen.

Benötigte Informationen für die weiteren Planungen zur Grundinstandsetzung:

- Angaben zum Ist-Zustand der Sohle und ansetzbare Festigkeitsklasse des Sohlenbetons (für den statischen Nachweis der Grundinstandsetzung)
- Angaben zur Dauerhaftigkeit, insbesondere bei Verzicht auf eine oberseitige Sohlklinkerung (angestrebte Nutzungsdauer: 100 Jahre)
- Machbarkeit der GW-Entspannung unter Berücksichtigung der Filterstabilität und Erosionssicherheit erforderlicher Öffnungen in der Sohle
- Durchlässigkeit unterhalb der Sohle (inhomogener Baugrund)
- Einschätzung möglicher Setzungsdifferenzen zwischen tiefgegründeter Spundwand und flach gegründeter (alter) Sohle

Die BAW-K wurde um Stellungnahme zur Weiternutzung der vorhandenen Sohle als aussteifendes Bauteil gebeten. Im Schreiben der BAW-K vom 23.02.2015 [12] wird mitgeteilt: *„bei einer weiteren planmäßigen Nutzungsdauer von 100 Jahren sind für alle Bauteile konsequent die geltenden Normen – wie bei einem Neubau - anzuwenden; das sind derzeit die Eurocodes. Dies ist bei der bestehenden Sohle nicht möglich. Aus diesem Grund und wegen der geringen Festigkeit, unzureichenden Qualität und Homogenität des vorhandenen Betons eine weitere Verwendung der Sohle langfristig nicht möglich.“*

Die Anforderungen für eine dauerhafte Nutzung der vorhandenen Sohle sind nicht erfüllt.

Möglichkeiten zur Ertüchtigung der vorhandenen Sohle

Grundsätzlich wären folgende Ertüchtigungsmöglichkeiten denkbar:

- Lokaler Austausch schadhafter Bereiche (unter Wasser) z. B. im Schutze von Bohrungen

- Großflächiger Austausch schadhafter Bereiche, abschnittsweise (etwa bis zur Mitte der Sohle)
- Einbau von Sohlsteifen aus Stahlbeton (Balkenrost)
- Zusätzliche Rückverankerung der Sohlsteifen zur Auftriebssicherung

Ob diese Ertüchtigungsmaßnahmen jedoch zu einer technisch machbaren und wirtschaftlich vertretbaren Lösung führen, lässt sich auf Basis der vorliegenden Informationen zum Ist-Zustand der Sohle nicht beurteilen. Die Datenbasis reicht dafür nicht aus, zusätzliche Aufschlüsse wären erforderlich.

Zur Beurteilung, ob ein aufwändiges Erkundungsprogramm überhaupt gerechtfertigt ist, ist zunächst die Frage zu klären, ob eine mögliche Ertüchtigung einen signifikanten wirtschaftlichen Vorteil bringt.

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wird daher die Untervariante 1.1.a betrachtet, die auf der Annahme basiert, dass die Baustoffeigenschaften und der Schädigungsgrad eindeutig definiert sind. Für diese Variante werden grobe Kosten ermittelt und mit den übrigen Varianten verglichen. Diese Betrachtung dient ausschließlich zur Entscheidungsfindung, ob weitere Erkundungen der Sohle zielführend sind. Dabei werden Annahmen getroffen, die noch zu verifizieren sind. Zum Kenntnisstand der Machbarkeitsstudie ist die Machbarkeit dieser Variante offen.

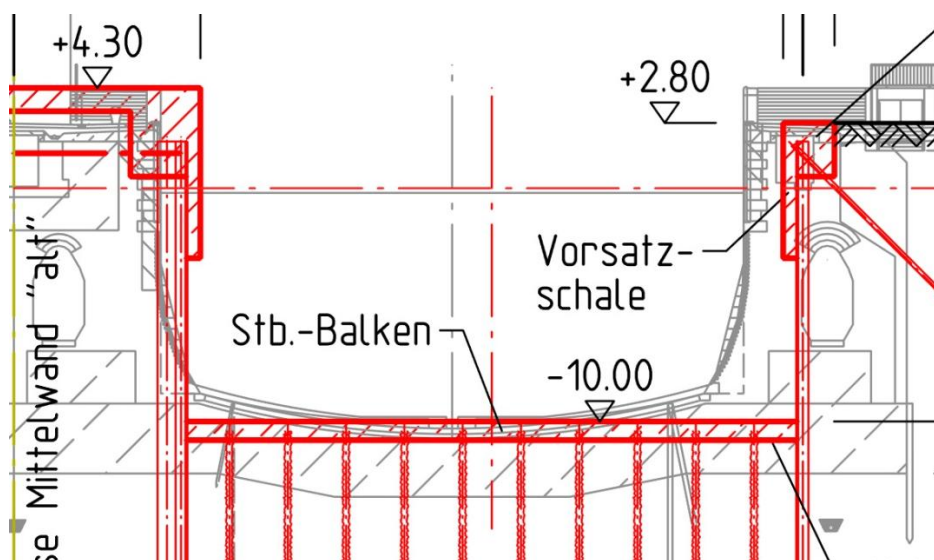


Abbildung 4: Variante 1.1a mit Sohlverstärkung durch Stahlbetonbalken

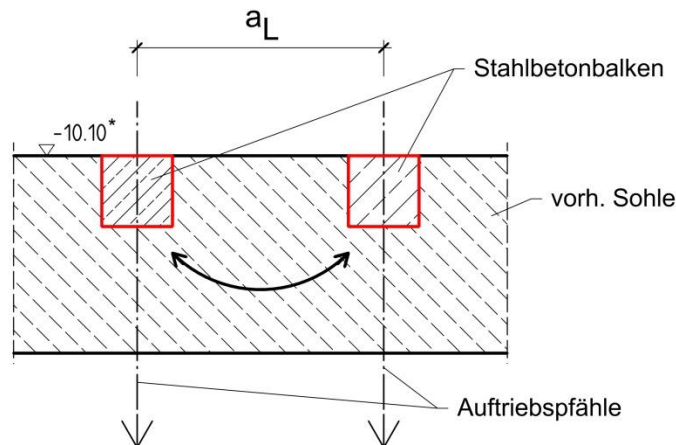


Abbildung 5: Variante 1.1a - Querschnitt durch Verstärkungsbalken

Folgende Annahmen wurden für die Untersuchung getroffen:

- Sohle wird mindestens in Betonfestigkeitsklasse B5 eingestuft
- Kein Austausch schadhafter Bereiche erforderlich
- Grundwasser kann bis zur Baugrubensohle abgesenkt werden
- Verstärkungsbalken aus Stahlbeton werden im Trockenen in zuvor gefräste Schlitze hergestellt

Es wurden Baukosten pro laufenden Meter Kammer ermittelt. Die Ermittlung der Kosten ist der Kostenschätzung, Anlage 4 zur Machbarkeitsstudie zu entnehmen. Es ergeben sich Kosten von ca. 288.000 €/ lfd m Kammerwand. Damit ergibt sich selbst bei Ansatz der o.g., günstigen Annahmen kein wirtschaftlicher Vorteil gegenüber der Variantenkombination K2 gemäß Kapitel 4.12.

Die Variante wird nicht weiter verfolgt.

4 VARIANTENUNTERSUCHUNG ZUR SCHLEUSENKAMMER

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie werden für die einzelnen Bauteile verschiedene Varianten untersucht. Für den Ersatz der Seitenwände und Mittelwände werden die Bauarten Spundwand, Bohrpfahlwand und Massivbau betrachtet. Eine Schlitzwandlösung wird aufgrund örtlich erkundeter Torfschichten ausgeschlossen. Für die Sohle werden die Weiternutzung der vorhandenen Sohle (vgl. voriges Kapitel), die Herstellung einer Schüttsteinsohle und die Herstellung einer Unterwasserbetonsohle (UWB-Sohle) betrachtet. Bei allen Varianten wird einheitlich von einer Kammerbreite von $b=25\text{m}$ und einer Mittelwandbreite von $b=16\text{m}$ ausgegangen.

Die verschiedenen Bauarten werden miteinander kombiniert.

Tabelle 1: Varianten Seitenwand bzw. Mittelwand

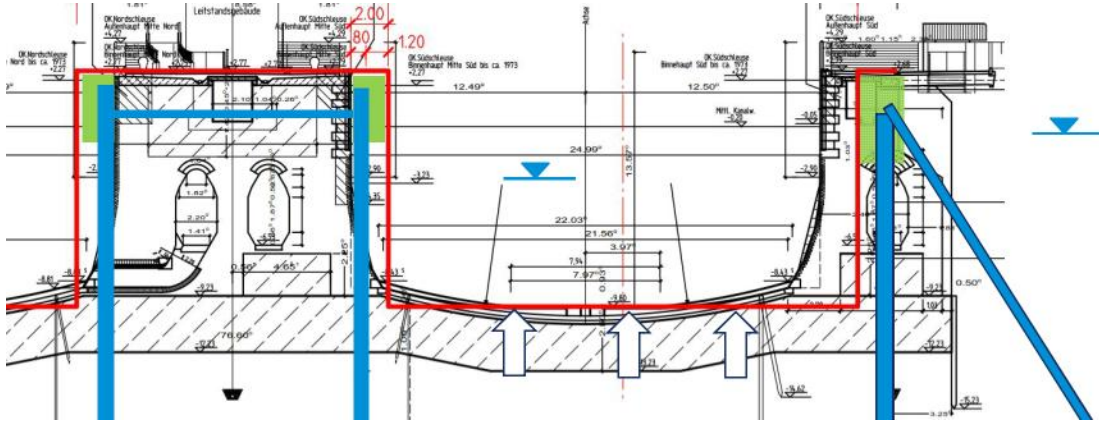
Seitenwand bzw. Mittelwand	vorhandene Sohle	Schüttsteinsohle	UWB-Sohle
Spundwand	1.1	1.2	1.3
Bohrpfahlwand	2.1	2.2	2.3
Massivbau	3.1	3.2	3.3
Rahmen			4.3

In den folgenden Abschnitten erfolgen eine Vorauswahl der verschiedenen Varianten und eine Bewertung auf ihre Machbarkeit hin. Die Auswahl umfasst der Vollständigkeit halber auch die in den vorigen Kapiteln aufgezeigten Varianten. Machbare Varianten werden anschließend weiter untersucht.

Die zugehörigen, statischen Voruntersuchungen erfolgen in Anlage 3 zur Machbarkeitsstudie, „Vorstatik Variantenuntersuchung“ Kap.7)

4.1 Variante 1.1 –Spundwand und vorhandene Sohle

Seitenwand und Mittelwand jeweils Variante 1.1



Wesentliche Merkmale

- Seitenwand: Ersatz der Seitenwand durch eine rückverankerte Spundwand
Bauzeitlich Nutzung der Spundwände als Baugrubenwand
- Mittelwand: Überbauung mit beidseitiger, durchgeankerter Spundwand (Fangedamm)
- Betonholm mit Unterkante bei NHN -3,0m (GW-Absenkung bis ca. NHN -4,0m)
- Umbau der vorh. Sohle zu dauerhaft durchlässiger Sohle
- Weiternutzung der vorhandene Sohle als untere Aussteifung im Bau- und im Endzustand

Vorteile

- Stützung der Spundwände durch die vorhandene Sohle statisch günstig

Nachteile

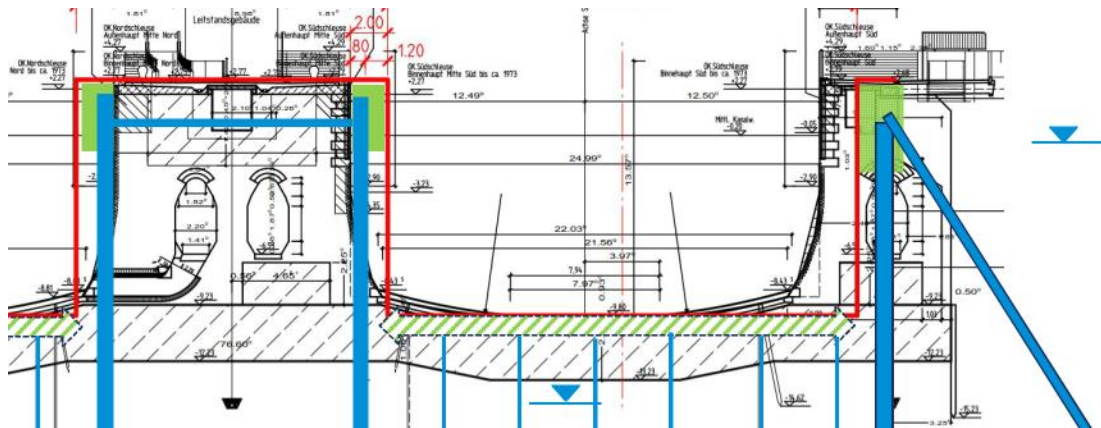
- Planungs- und Ausführungsrisiken durch Mitverwendung der vorhandenen Sohle
- Aufwändige Vorbohrung durch den Bestand für Spundwandeinbau. Bohrdurchmesser bis $d=2,0\text{m}$ wegen Spundwandprofilhöhen und Toleranzen.
- Überstehender Spundwandholm

Fazit

Die Anforderungen für eine dauerhafte Nutzung der Sohle sind nicht erfüllt (vgl. Abschnitt 3). **Variante ist nicht machbar** und wird verworfen.

4.2 Variante 1.1a – Spundwand und Ertüchtigung der vorhandenen Sohle

Seitenwand und Mittelwand jeweils Variante 1.1a (ertüchtigte Sohle)



Wesentliche Merkmale

- Seitenwand: Ersatz der Seitenwand durch eine rückverankerte Spundwand
Bauzeitlich Nutzung der Spundwände als Baugrubenwand
- Mittelwand: Überbauung mit beidseitiger, durchgeankerter Spundwand (Fangedamm)
- Ertüchtigung der vorh. Sohle durch Sohlsteifen aus Stahlbeton (Balkenrost). Für die Betonarbeiten ist eine GW-Absenkung bis ca. NHN -12m erforderlich.
- Zusätzliche Rückverankerung der Sohlsteifen zur Auftriebssicherung

Vorteile

- Stützung der Spundwände durch die ertüchtigte Sohle statisch günstig

Nachteile

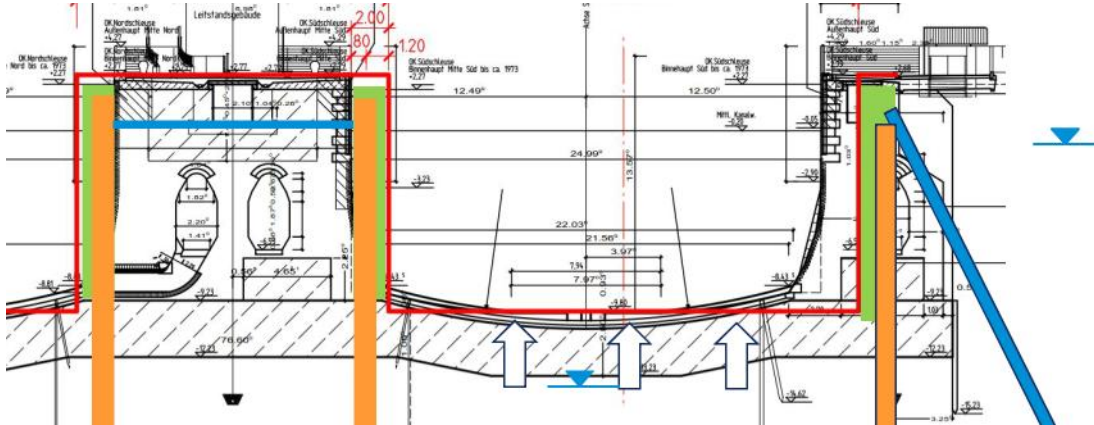
- Planungs- und Ausführungsrisiken bei Mitverwendung und Ertüchtigung der vorhandenen Sohle.
- Aufwändige Vorbohrung durch den Bestand für Spundwandeinbau. Bohrdurchmesser bis $d=2,0\text{m}$ wegen Spundwandprofilhöhen und Toleranzen.
- Überstehender Spundwandholm

Fazit

Die Machbarkeit der Grundwasserabsenkung und die teilweise Weiternutzung der Sohle kann im Rahmen der Machbarkeitsstudie nicht abschließend geklärt werden. Die **Machbarkeit ist offen**. Keine wirtschaftlichen oder technischen Vorteile gegenüber Neubauvarianten. Keine weitere Betrachtung im Rahmen der Studie.

4.3 Variante 2.1 – Bohrfahlwand und vorhandene Sohle

Seitenwand und Mittelwand jeweils Variante 2.1



Wesentliche Merkmale

- Seitenwand: Ersatz der Seitenwand durch eine rückverankerte Bohrfahlwand
Bauzeitlich Nutzung der Bohrfahlwände als Baugrubenwand
- Mittelwand: Überbauung mit beidseitiger, durchgeankerter Spundwand (Fangedamm)
- Stahlbetonvorsatzschale mit Unterkante bei NHN -10,0m (GW-Absenkung bis ca. NHN -10,50m)
- Umbau der vorh. Sohle zu dauerhaft durchlässiger Sohle
- Weiternutzung der vorhandene Sohle als untere Aussteifung im Bau- und im Endzustand

Vorteile

- Stützung der Bohrfahlwände durch die vorhandene Sohle statisch günstig

Nachteile

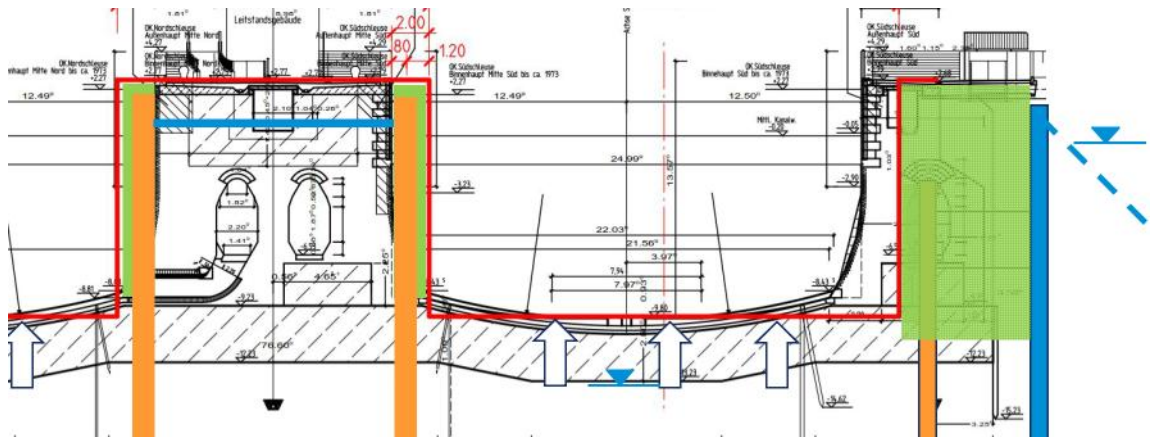
- Planungs- und Ausführungsrisiken durch Mitverwendung der vorhandenen Sohle
- Aufwändige Bohrung durch den Bestand. Bohrdurchmesser $d=1,5\text{m}$.

Fazit

Die Machbarkeit der Grundwasserabsenkung auf NHN -10,5m kann im Rahmen der Machbarkeitsstudie nicht abschließend geklärt werden (vgl. Abschnitt 2.2). Die Anforderungen für eine dauerhafte Nutzung der Sohle sind nicht erfüllt (vgl. Abschnitt 3). Die **Variante ist nicht machbar** und wird verworfen.

4.4 Variante 3.1 – Massivbau und vorhandene Sohle

Seitenwand Variante 3.1



Wesentliche Merkmale

- Seitenwand: Tiefgegründete Schwergewichtskonstruktion (Massivbau)
Spundwand als Baugrubenwand mit temporärer Rückverankerung /
- Mittelwand: analog Variante 1.1 oder 2.1
- Massive Stahlbetonwand mit Unterkante bei ca. NHN -11,5m (GW-Absenkung bis ca. NHN -12m)
- Umbau der vorh. Sohle zu dauerhaft durchlässiger Sohle
- Weiternutzung der vorhandene Sohle als untere Aussteifung im Bau- und im Endzustand

Vorteile

- Stützung der Wände durch die vorhandene Sohle statisch günstig
- Wenig Platzbedarf auf Südseite für optionale 5. Schleusenammer

Nachteile

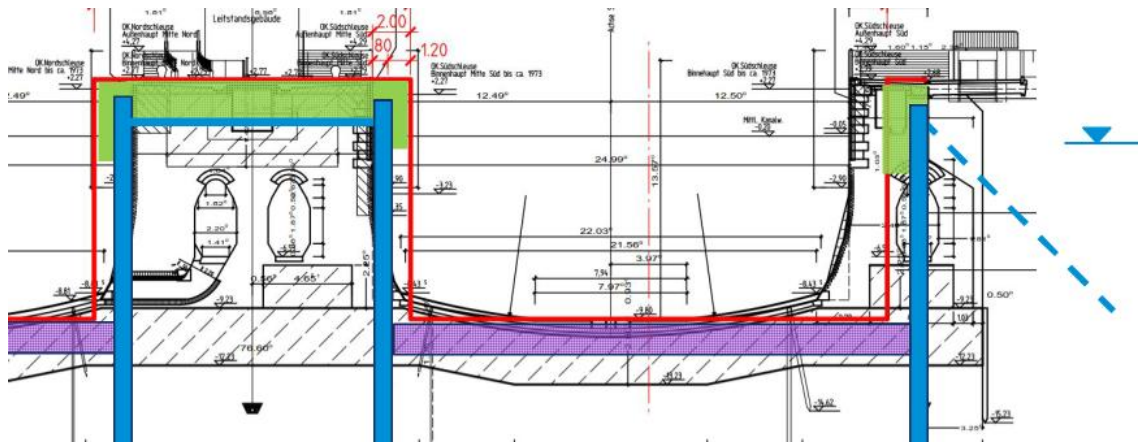
- Planungs- und Ausführungsrisiken durch Mitverwendung der vorhandenen Sohle
- Aufwändige Bohrung durch den Bestand. Bohrdurchmesser $d=1,5\text{m}$ sowie aufwändiger Anschluss der auf Zug beanspruchten Verankerung des Massivbaus

Fazit

Die Machbarkeit der Grundwasserabsenkung auf NHN -12m kann im Rahmen der Machbarkeitsstudie nicht abschließend geklärt werden. (vgl. Abschnitt 2.2). Die Anforderungen für eine dauerhafte Nutzung der Sohle sind nicht erfüllt (vgl. Abschnitt 3). Die **Variante ist nicht machbar** und wird verworfen.

4.5 Variante 1.2 – Spundwand und Schüttsteinsohle

Seitenwand und Mittelwand jeweils Variante 1.2



Wesentliche Merkmale

- Seitenwand: Ersatz der Seitenwand durch eine rückverankerte Spundwand
Bauzeitlich Nutzung der Spundwände als Baugrubenwand
- Mittelwand: Überbauung mit beidseitiger, durchgeankerter Spundwand (Fangedamm)
- Betonholm mit Unterkante bei NHN -3,0m (GW-Absenkung bis ca. NHN -4,0m)
- Abbruch der vorh. Sohle und Herstellung Schüttsteinsohle. Aushub/Abbruch mindestens bis ca. -14,50m für Herstellung Schüttsteinsohle

Vorteile

- Einfache Herstellung der Sohle

Nachteile

- Loses Schüttsteindeckwerk: Erosion infolge Schraubenstrahl kann nicht ausgeschlossen werden, d.h. Risiko von Steinumlagerungen und Kolkbildung.
Verklammertes Deckwerk: Risiko von Sohlaufbrüchen aufgrund von Potentialunterschieden unter/über der Sohle, wenn die Durchlässigkeit nicht dauerhaft gewährleistet ist.
- Fehlende Sohlsteife führt zu großen Spundwandabmessungen und Verformungen.
- Aufwändige Vorbohrung durch den Bestand für Spundwandeinbau. Bohrdurchmesser bis $d=2,0\text{m}$ wegen Spundwandprofilhöhen und Toleranzen.
- Mittelwand: Für den Nachweis der Tiefen Gleitfuge im Fangedamm wäre eine Mindestbreite der Mittelwand von $b>20\text{m}$ erforderlich.

- Überstehender Spundwandholm

Fazit

Die Standsicherheit des Fangedamms ist mit der geplanten Breite der Mittelwand von $b=16\text{m}$ nach den geltenden Regelwerken nicht nachweisbar. Die Variante wird verworfen.

4.6 Variante 2.2 – Bohrpfahlwand und Schüttsteinsohle

Ausschlussgrund analog Variante 1.2.

Die Standsicherheit des Fangedamms ist mit der geplanten Breite der Mittelwand von $b=16\text{m}$ nach den geltenden Regelwerken nicht nachweisbar. Die Variante wird verworfen.

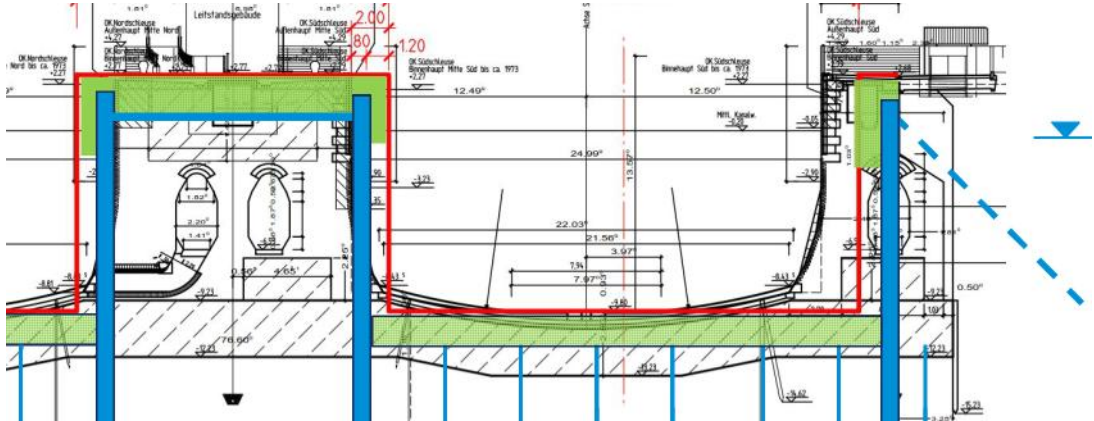
4.7 Variante 3.2 – Massivbau und Schüttsteinsohle

Ausschlussgrund analog Variante 1.2.

Die Standsicherheit des Fangedamms ist mit der geplanten Breite der Mittelwand von $b=16\text{m}$ nach den geltenden Regelwerken nicht nachweisbar. Die Variante wird verworfen.

4.8 Variante 1.3 – Spundwand und Unterwasserbetonsohle

Seitenwand und Mittelwand jeweils Variante 1.3



Wesentliche Merkmale

- Seitenwand: Ersatz der Seitenwand durch eine rückverankerte Spundwand
Bauzeitlich Nutzung der Spundwände als Baugrubenwand
- Mittelwand: Überbauung mit beidseitiger, durchgeankerter Spundwand (Fangedamm)
- Betonholm mit Unterkante bei NHN -3,0m. Dafür Wasserabsenkung in der Kammer bis ca. NHN -4,0m
- Abbruch der vorh. Sohle und Herstellung einer Unterwasserbetonsohle

Vorteile

- Revision (Trockenlegung) der Kammer optional möglich
- Stützung der Spundwände durch die Unterwasserbetonsohle im Endzustand statisch günstig

Nachteile

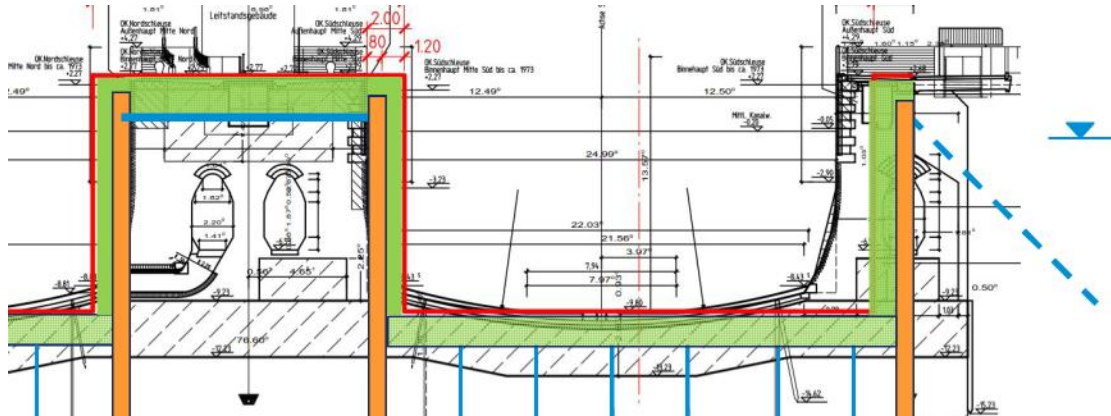
- Aufwändige Vorbohrung durch den Bestand für Spundwandeinbau. Bohrdurchmesser bis $d=2,0\text{m}$ wegen Spundwandprofilhöhen und Toleranzen.
- Überstehender Spundwandholm

Fazit

Die **Variante ist machbar** und wird weiter betrachtet.

4.9 Variante 2.3 – Bohrpfehlwand und Unterwasserbetonsohle

Seitenwand und Mittelwand jeweils Variante 2.3



Wesentliche Merkmale

- Seitenwand: Ersatz der Seitenwand durch eine rückverankerte Bohrpfehlwand
Bauzeitlich Nutzung der Bohrpfehlwände als Baugrubenwand
- Mittelwand: Überbauung mit beidseitiger, durchgeankerter Spundwand (Fangedamm)
- Abbruch der vorh. Sohle und Herstellung einer Unterwasserbetonsohle
- Trockenlegung der Kammer nach Herstellung der Unterwasserbetonsohle
- Stahlbetonvorsatzschale mit Unterkante bei NHN -10,0m. Herstellung im Trockenen.

Vorteile

- Revision (Trockenlegung) der Kammer im Endzustand möglich. Eine Lenzung ist bereits für Herstellung der Stahlbetonvorsatzschale erforderlich.
- Stützung der Bohrpfehlwände durch die Unterwasserbetonsohle im Endzustand statisch günstig

Nachteile

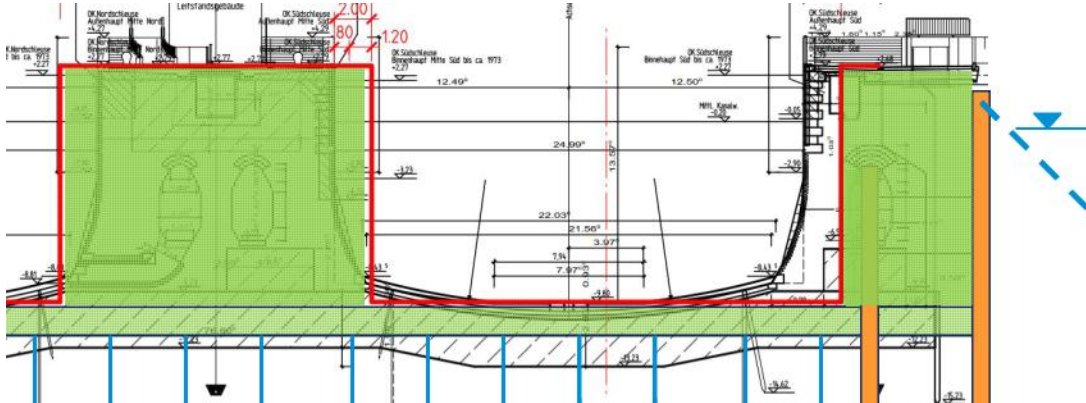
- Aufwändige Bohrung durch den Bestand. Bohrdurchmesser $d=1,5\text{m}$.

Fazit

Die **Variante ist machbar** und wird weiter betrachtet.

4.10 Variante 3.3 – Massivbau und Unterwasserbetonsohle

Seitenwand und Mittelwand jeweils Variante 3.3



Wesentliche Merkmale

- Seitenwand: Tiefgegründete Schwergewichtskonstruktion als massive Stahlbetonwände mit Unterkante bei ca. NHN -10,0m. Kammerseitig Bohrpfahlreihe; Landseitig Spundwand oder Bohrpfahlwand. Rückverankerung nur bauzeitlich für Nutzung als Baugrubenwand
- Mittelwand: Schwergewichtskonstruktion als hinterfüllter Stahlbetonrahmen
Gründung auf Unterwasserbetonsohle
- Abbruch der vorh. Sohle und Herstellung einer Unterwasserbetonsohle
- Trockenlegung der Kammer nach Herstellung der Unterwasserbetonsohle
- Stahlbetonarbeiten bis ca. NHN -10,0m im Trockenen

Vorteile

- Revision (Trockenlegung) der Kammer im Endzustand möglich. Eine Lenzung ist bereits für die Stahlbetonarbeiten erforderlich.
- Wenig Platzbedarf auf Südseite für optionale 5. Schleusenammer

Nachteile

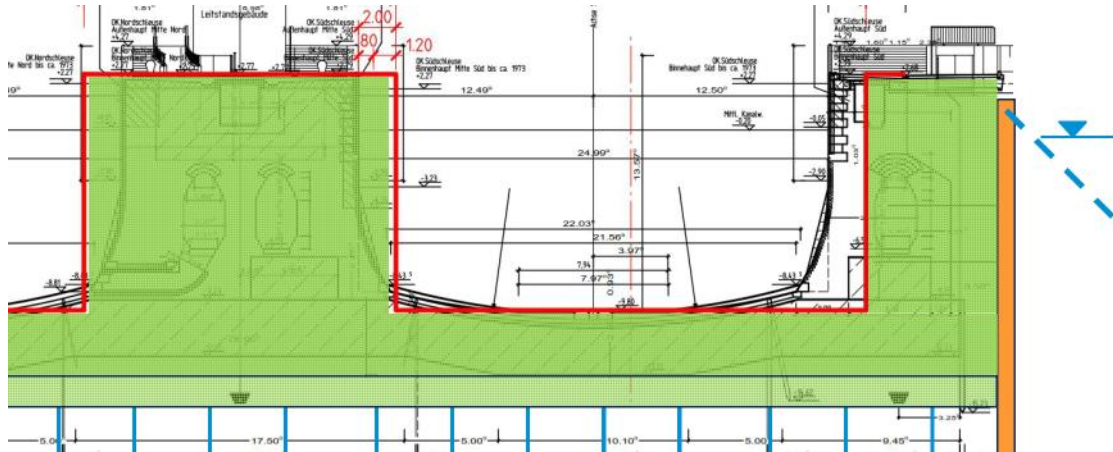
- Aufwändige Bohrung durch den Bestand
- Durchdringung der Unterwasserbetonsohle durch kammerseitigen Bohrpfahlwandreihe ausführungstechnisch problematisch
- Unterschiedliche Steifigkeit der Gründungen von Mittelwand (Mikropfähle) und Seitenwänden (Bohrpfähle und Spundwände)

Fazit

Die **Variante ist machbar** und wird weiter betrachtet.

4.11 Variante 4.3 – Massivbau als Rahmen und Unterwasserbetonsohle

Seitenwand und Mittelwand jeweils Variante 3.3a



Wesentliche Merkmale

- Baugrubenwand als temporär rückverankerte Spundwand oder Bohrpfehlwand.
- Massiver doppelter U-Rahmen aus Konstruktionsbeton
- Abbruch der vorh. Sohle und Herstellung einer Unterwasserbetonsohle
- Trockenlegung der Kammer nach Herstellung der Unterwasserbetonsohle
- Stahlbetonarbeiten im Trockenen

Vorteile

- Revision (Trockenlegung) der Kammer im Endzustand möglich. Eine Lenzung ist bereits für die Stahlbetonarbeiten erforderlich.
- Sehr robuste Konstruktion
- Wenig Platzbedarf auf Südseite für optionale 5. Schleusenammer

Nachteile

- keine

Fazit

Die **Variante ist machbar** und wird weiter betrachtet.

4.12 Variantenkombinationen

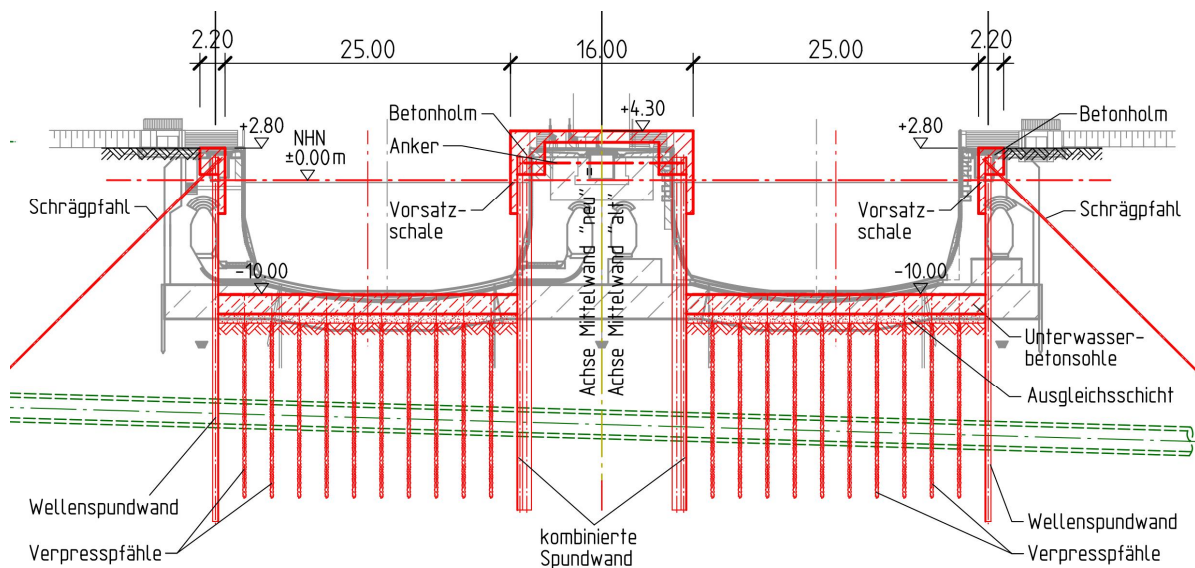
Die grün markierten Varianten werden weiter untersucht.

Tabelle 2: Varianten Seitenwand bzw. Mittelwand

Seitenwand bzw. Mittelwand	vorhandene Sohle	Schüttsteinsohle	UWB-Sohle
Spundwand	1.1	1.2	1.3
Bohrpfahlwand	2.1	2.2	2.3
Massivbau	3.1	3.2	3.3
Rahmen			4.3

Für den Doppelkammerquerschnitt werden aus den o.g. Varianten fünf mögliche Variantenkombinationen entwickelt. Für diese Kombinationen wurden die Kosten pro laufenden Meter Kammer ermittelt. Die Ermittlung der Kosten ist der Kostenschätzung, Anlage 4 zur Machbarkeitsstudie zu entnehmen.

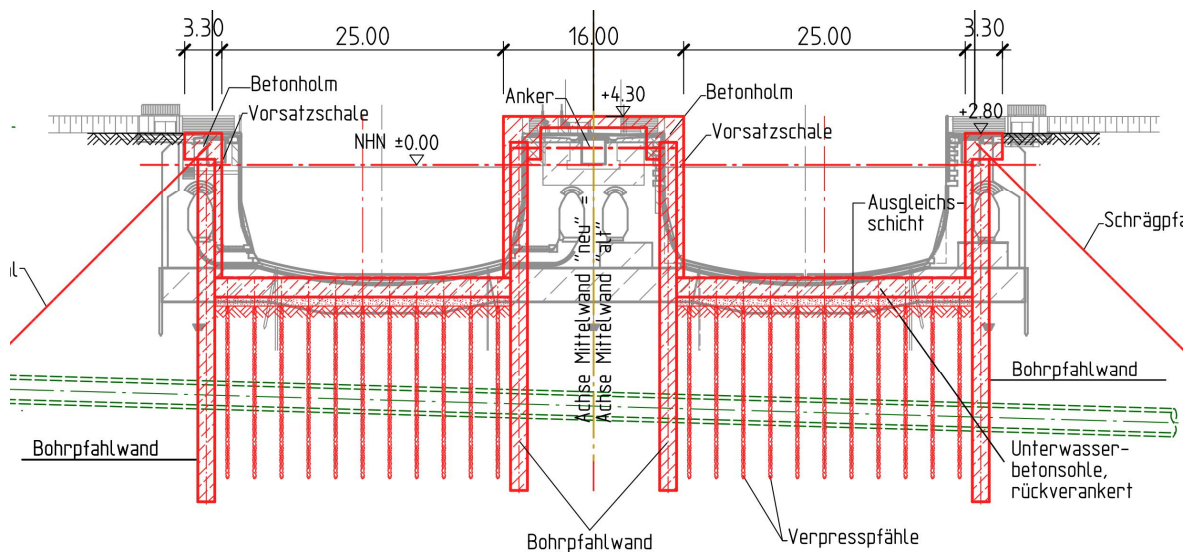
Kombination K1: Spundwand und Unterwasserbetonsohle



Kombination K1	Nordkammer	Südkammer	Gesamt	
A1.3 SpW – Seitenwand	63.000	63.000	126.000	
B1.3 SpW – Mittelwand	67.000	67.000	134.000	
C1.3 Unterwasserbetonsohle	24.000	24.000	48.000	
Summe	154.000	154.000	308.000	110%*

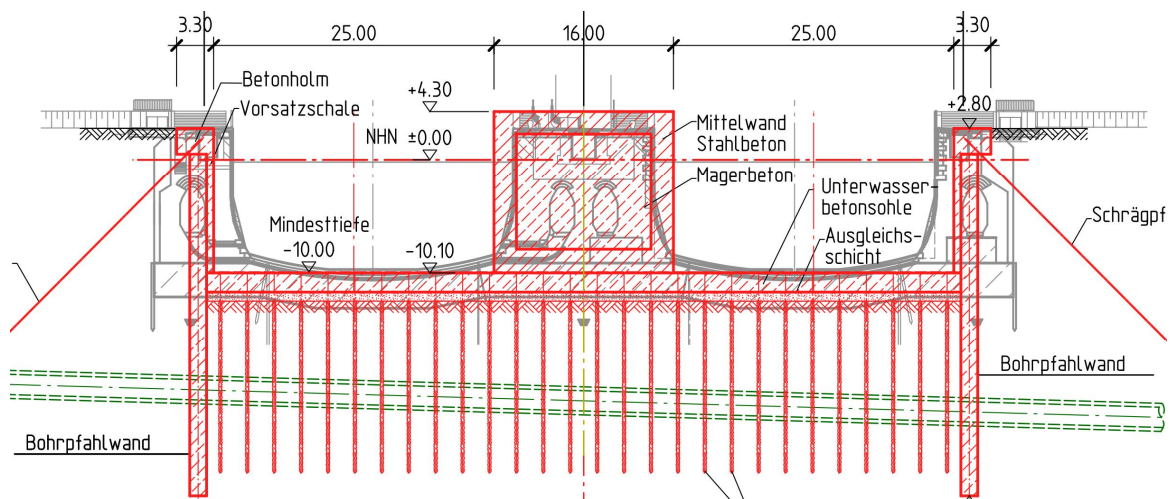
* bezogen auf kostengünstigste Kombination K2=100%

Kombination K2: Bohrpfahlwand und Unterwasserbetonsohle



Kombination K2	Nordkammer	Südkammer	Gesamt	
A2.3 BpW – Seitenwand	58.000	58.000	116.000	
B2.3 BpW – Mittelwand	58.000	58.000	116.000	
C2.3 Unterwasserbetonsohle	24.000	24.000	48.000	
Summe	140.000	140.000	280.000	100%

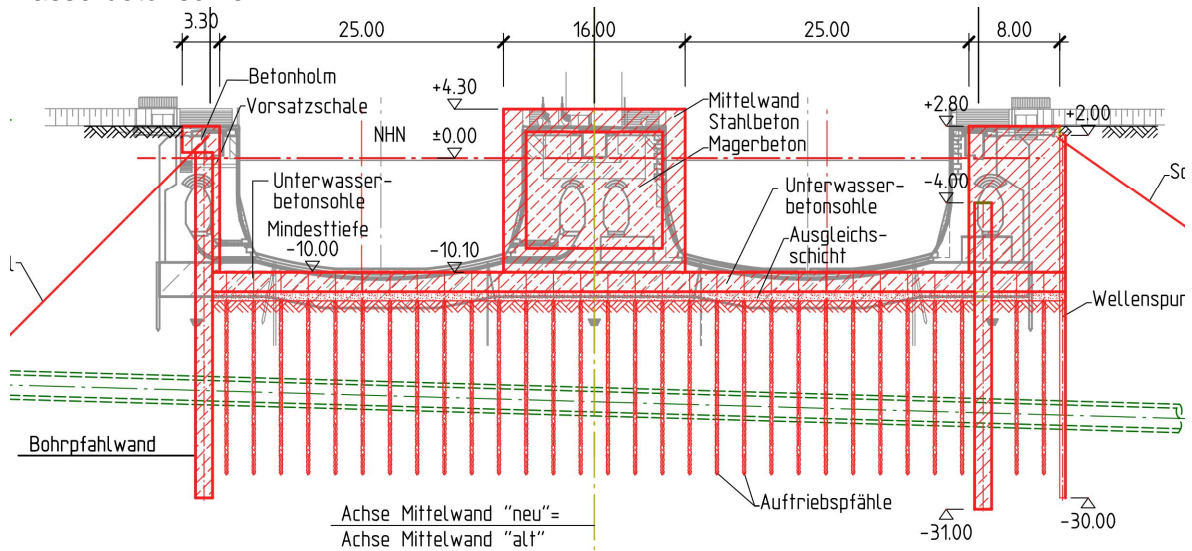
Kombination K3: Bohrpfahlwand, massive Mittelwand und Unterwasserbetonsohle



Kombination K3	Nordkammer	Südkammer	Gesamt	
A2.3 BpW – Seitenwand	58.000	58.000	116.000	
B3.3 Massiv – Mittelwand	47.000	47.000	94.000	
C3.3 Unterwasserbetonsohle	37.000	37.000	74.000	
Summe	142.000	142.000	284.000	101%*

* bezogen auf kostengünstigste Kombination K2=100%

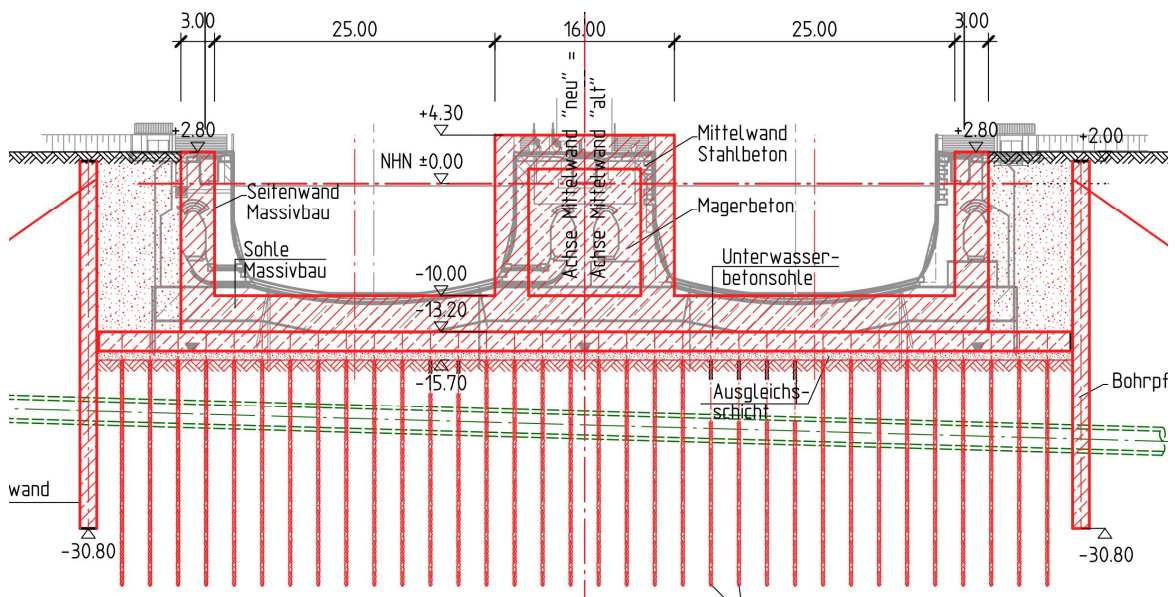
Kombination K4: Einseitige Bohrpfehlwand, massive Seiten- und Mittelwand und Unterwasserbetonsohle



Kombination K4	Nordkammer	Südkammer	Gesamt	
A2.3 BpW - Seitenwand - Nord	58.000		58.000	
A3.3 Massiv – Seitenwand - Süd		108.000	108.000	
B3.3 Massiv – Mittelwand	47.000	47.000	94.000	
C3.3 Unterwasserbetonsohle	37.000	37.000	74.000	
Summe	142.000	192.000	334.000	119%*

* bezogen auf kostengünstigste Kombination K2=100%

Kombination K5: Rahmenkonstruktion



Variante	Nordkammer	Südkammer	Gesamt	
D2 BpW - Rahmen	217.000	217.000	434.000	155%*

* bezogen auf kostengünstigste Kombination K2=100%

4.13 **Bewertung der Variantenkombinationen**

Eine Bewertung der Variantenkombinationen wird nach dem Verfahren der Nutzwertanalyse durchgeführt. Für die Bewertung werden fünf Kriteriengruppen festgelegt, denen jeweils eine Gewichtung zugeteilt wird. In der Summe ergeben sich für jede Variante die Gewichtungen der Kriteriengruppen zu 100 %.

Je nach Einfluss eines Kriteriums auf die Variante werden Werte zwischen 1 und 5 relativ zu einander zugeteilt. Für die Punktevergabe gilt folgende Regel:

- 1 Punkt = negative Auswirkung
- bis
- 5 Punkte = positive Auswirkung

Die Variante mit der höchsten Gesamtsumme erreicht den höchsten Nutzwert und stellt die Vorzugsvariante da.

In Abhängigkeit der Vorzugsvariante erfolgt eine Abstufung der anderen Varianten und die Zuordnung des jeweiligen Punkterangs.

Die Bewertungskriterien sind in fünf Gruppen eingeteilt:

1. Bau/Bauablauf
2. Bauzeitliche Risiken
3. Auswirkungen der Baumaßnahme
4. Robustheit und Qualität
5. Kosten

Diese Kriteriengruppen werden im Folgenden hinsichtlich der Einzelkriterien beschrieben, die wesentliche Einflussgrößen für die Beurteilung der Varianten darstellen.

4.13.1 **Kriteriengruppe A: Bau/Bauablauf**

Bauzeit

Eine möglichst kurze Bauzeit ist anzustreben. Es wird qualitativ bewertet, wie sich maßgebliche Gewerke auf die Gesamtbauzeit auswirken.

Die Gründungsarbeiten haben einen maßgeblichen Einfluss auf die Bauzeit und liegen hinsichtlich der Gesamtbauzeit auf dem kritischen Weg, weil erst nach Herstellung der Baugrubenwände mit dem Aushub und Abbruch in der Schleuse begonnen werden kann. Bohrarbeiten innerhalb des Bestandes (Varianten K1 bis K4) sind deutlich zeitintensiver als Bohrarbeiten, die außerhalb des Bestandes im anstehenden Baugrund ausgeführt werden (Variante K5). Die Bohrleistung im Boden ist grob geschätzt etwa doppelt so hoch wie im Beton oder Mauerwerk. Bei den Spundwandarbeiten (Variante K1) kommt noch hinzu, dass zunächst großformatige Räumungsbohrungen durch den Bestand ausgeführt werden müssen und erst in einem zweiten Arbeitsschritt die Spundwandelemente eingerammt werden können. Bei der

Herstellung von Bohrpfahlwänden (Variante K2 bis K5) wird der Ortbetonpfahl in einem Arbeitsschritt in der Bohrung hergestellt. Bei einem parallelen Geräteinsatz von 4 Bohrgeräten liegt zwischen Variante K2 (4 Reihen Bohrungen im Bestand) und Variante K5 (2 Reihen Bohrungen außerhalb des Bestandes) eine Differenz von etwa 4 Monaten zugunsten Variante K5. Die Gesamtbauzeit beträgt etwa 4 bis 4,5 Jahre.

Der Umfang der Aushub- und Abbrucharbeiten sowie der Betonarbeiten in der Kammer wirkt sich bezogen auf die Gesamtbauzeit nur geringfügig aus, weil diese Arbeiten parallel zu den Arbeiten in den Häuption ausgeführt werden können.

4.13.2 **Kriteriengruppe B: Bauzeitliche Risiken**

Risiko Bestandsbauwerke

Die vorhandene Schleuse wird nicht betrachtet, weil diese überbaut wird. Für die benachbarten Gebäude und den neuen Versorgungsdüker sind keine nennenswerten Unterschiede im Hinblick auf Schäden durch Erschütterungen oder Setzungen zu erwarten (siehe Stellungnahme der BAW [11]).

Risiko Schadstoffbelastung

Umfangreiche Abbrucharbeiten an der bestehenden Schleuse werden negativ bewertet, weil das Risiko steigt, dass Abbruchmaterial schadstoffbelastet ist und aufwändig separiert und entsorgt werden muss.

Risiko Bauausführung, Bauzeit, Baukosten

Risiken für die Bauausführung, die Bauzeit und die Baukosten sind aufgrund der Größe und Komplexität der Baumaßnahme, der Unwägbarkeiten aus dem Baugrund und dem Bestand sowie der gegenseitigen Abhängigkeiten unterschiedlicher Bautätigkeiten grundsätzlich gegeben. Bewertet werden folgende Risikobereiche:

- **Arbeiten im Bestand:** Der Umfang der Bohrarbeiten im Bestand (K1 bis K4) erhöht das Ausführungsrisiko. Unvorhergesehene Hindernisse oder Abweichungen vom erwarteten Zustand können zu erheblichen Störungen in der Bauausführung führen.
- **Tiefgründungsarbeiten:** Der Umfang der Tiefgründungsarbeiten (Spundwände (K1), Bohrpfahlwände (K2 bis 5), Anker, Pfähle) erhöht das Ausführungsrisiko, weil Hindernisse oder Abweichungen im Baugrund zu Störungen in der Bauausführung führen können. Zudem steigt mit der Vielzahl von Großgeräten auf der Baustelle auch deren Ausfallrisiko.
- **Unterwasserarbeiten:** Bei allen Varianten sind Unterwasserarbeiten für den Abbruch und die Unterwasserbetonsohle notwendig, daher keine relevanten Unterschiede.

4.13.3 Kriteriengruppe C: Auswirkungen der Baumaßnahme

Eingriffe in Natur und Umwelt

Nennenswerte Unterschiede im Hinblick auf die Veränderung des Umfeldes und die Planfeststellungsrelevanz können nicht ausgemacht werden.

Einfluss auf Dritte

Die Spundwanddrämmung (K1) wird negativ bewertet, weil eine höhere Lärmentwicklung und größere Erschütterungen als bei der Herstellung von Bohrpfahlwänden (K2 bis K5) zu erwarten sind. Auch umfangreiche Abbrucharbeiten haben relevanten Einfluss auf die Lärmentwicklung (K3 bis K5).

Es wird davon ausgegangen, dass Materialtransporte überwiegend über den Wasserweg und nicht über Straße erfolgen. Insofern werden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten hinsichtlich störender Auswirkungen durch Baustellentransporte erwartet. Nautische Belange sind durch die Varianten nicht betroffen.

Einfluss auf Gewässer

Grundwasserabsenkungen während der Bauzeit finden innerhalb geschlossener Baugruben bzw. im hydraulisch begrenzten Auffüllbereich hinter den bestehenden Schleusenammerwänden statt und haben daher keinen Einfluss auf die Gewässer.

Gewässerverunreinigung können durch Abbrucharbeiten und Betonarbeiten unter Wasser verursacht werden, z.B. durch Schwebstoffe bzw. Erhöhung des pH-Wertes (Alkalität). Die Betonarbeiten finden innerhalb geschlossener Baugruben statt. Vor der Einleitung in den NOK bzw. in die Ostsee ist das Wasser zu reinigen. Bei den Abbrucharbeiten wird die Baugrube (Fangedamm) binnenseitig geöffnet, um die Durchfahrt von Schuten zu gewährleisten (vgl. Bauphasenpläne, Bauphase 6). Auch wenn Gewässerverunreinigungen bei den Abbrucharbeiten verfahrenstechnisch zu vermeiden sind, steigt dennoch die Wahrscheinlichkeit mit dem Umfang der Abbrucharbeiten (K3 bis K5). Daher werden umfangreiche Abbrucharbeiten negativ bewertet.

Flächeninanspruchnahme

Die Rückverankerung für die Spundwände (K1) bzw. die Bohrpfahlwände (K2 bis K5) führt zu einer Flächeninanspruchnahme auf der Schleusenanlage. Eine dauerhaft erforderliche Rückverankerung (K1 bis K3) wird negativ bewertet, weil dies zu einer dauerhaften Flächeninanspruchnahme führt. Positiv bewertet wird, wenn die Rückverankerung nur temporär für die Baugrubenwände benötigt wird und nach Fertigstellung der Baumaßnahme gekappt werden kann (K4 und K5).

4.13.4 Kriegergruppe D: Robustheit und Qualität

Robustheit

Laut BAW Merkblatt „Bewertung der Tragfähigkeit bestehender, massiver Wasserbauwerke TbW)“ ist *„Robustheit die Eigenschaft eines Tragwerks, unvorhergesehenen bzw. unberücksichtigten Beanspruchungen oder Ausfällen zielgerecht zu widerstehen“*. Positiv bewertet werden robuste, monolithische Bauweisen, die systembedingt Tragfähigkeitsreserven, eine hohe Kompaktheit und eine hohe Schadensresistenz aufweisen. Dies ist am besten bei der Rahmenkonstruktion (Variante K5) gegeben.

Bei Variante K3 und K4 ist die Mittelwand flach auf der Unterwasserbetonsohle gegründet. Die Unterwasserbetonsohle ist unbewehrt und trägt die vertikal nach oben gerichteten Lasten über Gewölbewirkung in die Auftriebspfähle ab. Als Auftriebspfähle sind Mikropfähle vorgesehen, die im Vergleich zu Stahlpählen oder Bohrpählen vergleichsweise nachgiebig sind. Bei ungleichen Wasserständen zwischen Nord- und Südkammer wird die Mittelwand einseitig mit Wasserdruck beaufschlagt. Dies führt zu einer trapezförmigen Sohlpressung unter der Mittelwand, insbesondere bei Lenzung einer Kammer. Während bei einer Trockenlegung die Mikropfähle unter der Mittelwand (K3 und K4) und der Seitenwand (K4) aufgrund des Eigengewichtes der Wände überdrückt werden, erhalten die Pfähle im gelenzten Kammerquerschnitt Zuglasten. Die Auftriebspfähle erhalten demnach quer zur Kammer wechselweise Druck- und Zuglasten. Dies führt zu einem unregelmäßigen Schnittgrößenverlauf in der Sohle und kann im Falle von nicht zu vernachlässigenden Setzungen zu Undichtigkeiten in der Unterwasserbetonsohle führen. Die Bewertung der Varianten ist daher immer im Zusammenhang mit der Setzungsempfindlichkeit des Baugrundes zu sehen. In der Vergleichsbetrachtung zu den übrigen Varianten wird das System in statisch konstruktiver Hinsicht ungünstiger bewertet.

Bei den Varianten K1 und K2 stehen die Wände und die Sohle hinsichtlich des Verformungsverhaltens nicht in einer direkten Wechselwirkung. Die Wände und Sohle sind eigenständig standsicher, die Sohle dient für die Wände lediglich als untere Aussteifung.

Sicherstellung der Dauerhaftigkeit und Qualität

Die Dauerhaftigkeit ist beim Massivbau einheitlich für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren auszulegen.

Die Sicherstellung der Qualität unterliegt herstellungsbedingten Unwägbarkeiten. Spundwandprofile werden auf einem hohen Qualitätsniveau industriell vorgefertigt. Das Einbringen der Profile erfolgt jedoch unter Baustellenbedingungen. Maßgebend für die Funktionsfähigkeit und Dichtigkeit der Spundwand ist, dass eine einwandfreie Schlossverhakung sichergestellt wird. Bei den Spundwandarbeiten kann es zu Unwägbarkeiten in der Bauausführung und im Baugrund kommen.

Bei den Bohrpfahlwänden mit Stahlbetonvorsatzschale werden Bohrpfähle als dauerhafte Tragelemente verwendet. An die Bohrpfähle als Dauerbauteil sind besondere Qualitätsanforderungen zu stellen. Während die Stahlbetonvorsatzschale im Trockenen mit einer Systemschalung hergestellt kann, sind bei den Bohrpfählen Unwägbarkeiten im Baugrund zu beachten. Eine Besonderheit stellt die Fuge zwischen Bohrpfahlwand und Vorsatzschale dar, die mittels eingebohrter Bewehrung verankert wird. Negativ bewertet wird, dass das Korrosionsverhalten der Verankerungselemente nicht überwacht werden kann, da diese nicht mehr zugänglich sind.

Bei der Verwendung der Unterwasserbetonsohle als dauerhaftes Bauteil sind hohe Anforderungen an die fachgerechte Herstellung unter Wasser zu beachten. Insbesondere die Einhaltung von Ausführungstoleranzen, die Rissneigung bzw. deren Abdichtung sowie die Abdichtung im Übergang zwischen Unterwasserbetonsohle und den aufgehenden Wänden bei der Spundwand (K1) und bei der Bohrpfahlwand (K2 bis K4) stellen eine besondere Herausforderung an die Bauausführung dar. Es kann zu Unwägbarkeiten in der Bauausführung, insbesondere beim Tauchereinsatz kommen.

Bei Herstellung einer massiven Rahmenkonstruktion im Trockenen mit monolithisch verbundenen Stahlbetonwänden und -sohlen (K5) lässt sich die Qualität am besten sicherstellen und kontrollieren.

4.13.5 **Kriteriengruppe E: Kosten**

Baukosten

Bewertet werden die Baukosten pro lfdm Kammer. Es wird der Kostenvergleich aus Kapitel 4.12 zugrunde gelegt.

Betrieb und Unterhaltung

Bei den Spundwänden (K1) werden voraussichtlich Korrosionsschutzmaßnahmen (Beschichtungen und/oder Kathodischen Korrosionsschutzanlagen) erforderlich, die gegenüber den Betonkonstruktionen (K2 bis K5) Kosten im Betrieb und Unterhaltung verursachen. Ansonsten werden hinsichtlich der Betriebs- und Unterhaltungskosten keine signifikanten Unterschiede erwartet.

4.13.6 **Ergebnis**

Die Varianten K2 (Bohrpfahlwand) und K5 (Rahmen) erhalten in der Nutzwertanalyse fast die gleiche Punktzahl. Die Gewichtung der Bewertungskriterien erfolgte nach Angaben des WSA.

Die Variante K5 (Rahmen) erhält knapp die höchste Punktzahl. Vorteilhaft ist die Variante K5 hinsichtlich Bauzeit, Risiken für die Bauausführung, Flächeninanspruchnahme, Robustheit und Sicherstellung der Dauerhaftigkeit und Qualität.

Die Variante K2 (Bohrpfahlwand) liegt auf dem zweiten Platz und führt nach jetzigem Kenntnisstand zu den geringsten Baukosten.

Die beiden Variantenkombinationen werden im Rahmen der Machbarkeitsstudie weiter betrachtet.

Hauptkriterien		Gewichtung	Variante K1 (4xSpW)		Variante K2 (4xBpfW)		Variante K3 (2xBpfW+M)		Variante K4 (1xBpfW+2xM)		Variante K5 (Rahmen)	
Unterkriterien												
A Bau / Bauablauf												
1	Bauzeit	3%	1	0,03	2	0,06	3	0,09	2	0,06	4	0,12
Summe		3%		0,03		0,06		0,09		0,06		0,12
B Bauzeitliche Risiken												
1	Risiko Bestandsbauwerke	5%	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15
1	Risiko Schadstoffbelastung	5%	4	0,20	4	0,20	3	0,15	3	0,15	2	0,10
2	Risiko Bauausführung und Bauzeit	10%	2	0,20	2	0,20	3	0,30	3	0,30	4	0,40
Summe		20%		0,55		0,55		0,60		0,60		0,65
C Auswirkungen der Baumaßnahme												
1	Eingriffe in Natur und Umwelt	8%	3	0,24	3	0,24	3	0,24	3	0,24	3	0,24
1	Einfluss auf Dritte	8%	2	0,16	5	0,40	3	0,24	3	0,24	3	0,24
2	Einfluss auf Gewässer	8%	4	0,32	4	0,32	2	0,16	2	0,16	2	0,16
3	Flächeninanspruchnahme	3%	2	0,06	2	0,06	2	0,06	4	0,12	5	0,15
Summe		27%		0,78		1,02		0,70		0,76		0,79
D Robustheit und Qualität												
1	Robustheit	20%	3	0,60	3	0,60	2	0,40	2	0,40	5	1,00
2	Sicherstellung der Dauerhaftigkeit und Qualität	10%	2	0,20	2	0,20	2	0,20	2	0,20	5	0,50
Summe		30%		0,80		0,80		0,60		0,60		1,50
E Kosten												
1	Baukosten	15%	3	0,45	5	0,75	3	0,45	2	0,30	1	0,15
2	Betrieb und Unterhaltung	5%	2	0,10	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Summe		20%		0,55		0,90		0,60		0,45		0,30
		100%		2,71		3,33		2,59		2,47		3,36
		Rang		3		2		4		5		1

Abbildung 6: Tabelle Nutzwertanalyse

Die gesamte Tabelle einschließlich Bemerkungen ist in Anlage 1 beigefügt.

5 UNTERSUCHUNG ZUR BAUGRUBE DER HÄUPTER

Die Häupter werden im Schutze von dichten Baugruben hergestellt. Die Baugruben für das Außenhaupt und das Binnenhaupt haben jeweils Abmessungen von ca. 50 x 87,5m. Die seitlichen Verbauwände werden als Bohrpfehlwände geplant. Alternativ wäre auch der Einsatz von Spundwänden möglich, die jedoch den Nachteil haben, dass im Vorwege aufwändige Räumungsbohrungen erfolgen müssen.

Die Kammerbaugrube und die Häupterbaugrube haben unterschiedliche Sohlhöhen und werden durch eine Trennspundwand voneinander getrennt.

Als fördeseitige bzw NOK-seitige Baugrubenwand besteht die Möglichkeit, einen Fangedamm oder eine einfache Spundwand auszuführen. Die Spundwand wäre aufgrund von Wechselbelastungen mit druck und zugsteifer Schrägpfehlwänden auszuführen. Aus folgenden Gründen wird die Fangedammlösung bevorzugt:

- Robuste Bauweise, insbesondere als Schutz vor unplanmäßigen Einwirkungen (Treibgut, Eis, Anprall)
- Überfahrbarkeit der Baustelle für Baustellentransporte
- Querung für Fußgänger, Fahrzeuge und Leitungen
- Optional Anlege- und Umschlagmöglichkeit für Schuten
- Dichtigkeit gegenüber dem offenen Gewässer nicht nur durch Spundwandschlösser, sondern auch durch die Fangedammverfüllung gegeben

Aufgrund der großen Abmessungen werden die Häupterbaugruben mit rückverankerten Baugrubenwänden geplant. Eine ausgesteifte Baugrube würde aufgrund der Steifenlagen und Zwischenunterstützungen zu einer erheblichen Einschränkung bei den Abbruch-, Aushub-, Unterwasserbeton- und Stahlbetonarbeiten führen.

Gemäß einer statischen Vorermittlung wäre eine zweifache Steifenlage mit Rohren $d=508 \times 20\text{mm}$ bzw. $d=860 \times 30\text{mm}$ im Abstand von ca. 8m und tiefgegründete Zwischenunterstützungen im Abstand von ca. 6,3m erforderlich (Anlage 3 zur Machbarkeitsstudie, „Vorstatik Variantenuntersuchung“)

Die Kosten für eine ausgesteifte Baugrube sind aufgrund des hohen Materialeinsatzes gegenüber der rückverankerten Baugrube etwa doppelt so hoch (siehe Kostenvergleich (Nr.13), Anlage 4 zur Machbarkeitsstudie).

Die weitere Planung erfolgt mit einer steifenfreien Baugrube.

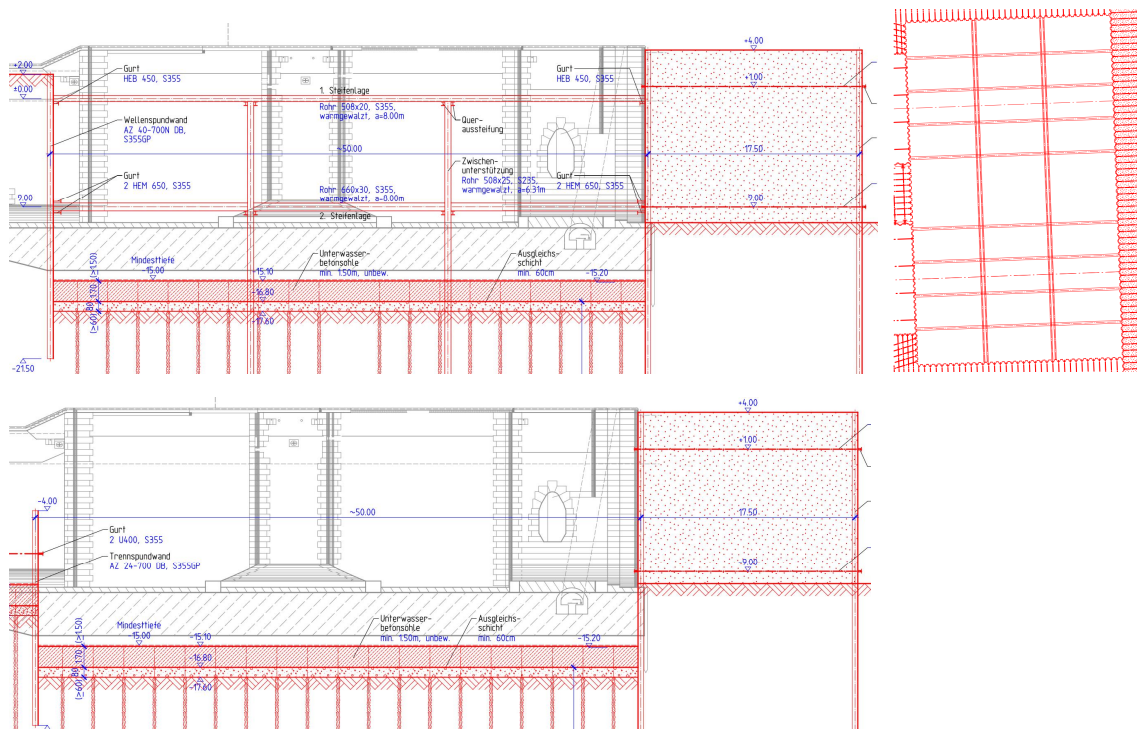


Abbildung 7: Abb. oben: Baugrube mit Steifen / Abb. unten: Baugrube ohne Steifen

6 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)

7 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Prinzipskizze für eine Ertüchtigung 3
 Abbildung 2: Prinzipskizze Variante 1.1 7
 Abbildung 3: Detail Abbruch in Randbereichen 8
 Abbildung 4: Variante 1.1a mit Sohlverstärkung durch Stahlbetonbalken 10
 Abbildung 5: Variante 1.1a - Querschnitt durch Verstärkungsbalken 11
 Abbildung 6: Tabelle Nutzwertanalyse 31
 Abbildung 7: Abb. oben: Baugrube mit Steifen / Abb. unten: Baugrube ohne Steifen 33

8 ANLAGEN

Anlage 1 Tabelle Nutzwertanalyse Kammerwand

Aufgestellt/Stand:

Hamburg, den 29.02.2016

 Dipl.-Ing. H. Sunderdiek

(Projektleiter)