Erneuerung der Schiebetore der Großen Seeschleuse Wilhelmshaven

M. Sc. Mathias Kant, Tractebel Hydroprojekt GmbH, Magdeburg
M. Sc. Jens Fiedler, eberhardt . die ingenieure GmbH

Es werden die Besonderheiten und außergewöhnlichen Anforderungen an die Planung der neuen Schiebetore der großen Seeschleuse Wilhelmshaven dargelegt. Im Anschluss erfolgt die Darstellung der entwickelten Vorzugsvariante.

1. Einleitung

Die große Seeschleuse Wilhelmshaven sowie der Neue Vorhafen sind Anlagen der Deutschen Marine und unterstehen dem Bundesministerium für Verteidigung. Die Aufgaben zum Neubau und zur Unterhaltung der Marineanlagen sind gemäß Artikel 87b des Grundgesetzes der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes übertragen worden. Das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Weser-Jade-Nordsee (WSA) nimmt diese Aufgabe vor Ort wahr. Auch der tägliche Betrieb der Seeschleuse wird vom WSA Weser-Jade-Nordsee durchgeführt. Die Große Seeschleuse Wilhelmshaven ist eine Doppelschleuse und verbindet die Jade (Nordsee) mit den inneren Hafenbereichen sowie dem Ems-Jade-Kanal. Sie stellt die einzige Verbindung zum militärisch und zivil genutzten Hafen dar. Die Anlage ist seit dem Wiederaufbau zwischen 1957 und 1964 in Betrieb und besteht aus zwei Schleusenkammern mit jeweils zwei Schiebetoren. Die Schleuse reguliert einerseits die binnenhafenseitigen Wasserstände für die Schifffahrt und ist gleichzeitig Bestandteil der Deichlinie für den Hochwasserschutz. Seeseitig vorgelagert ist der Vorhafen, der ausschließlich der Marine dient.
Auf Grund des Alters und der damit verbundenen Schäden der Schiebetore aus den 60-iger Jahren, dem nicht mehr ausreichenden Hochwasserschutz dieser Tore und der teilweise nicht gegebenen Betriebsfestigkeit wird der Neubau von 3 Schiebetoren erforderlich.

2. Planungsrandbedingungen und Anforderungen

Für den Neubau und die Planung der Tore sind die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Betrieb der vorhandenen Tore zu berücksichtigen und Verbesserungen für die neue Tore abzuleiten. Ziel ist es, die Vorteile der jeweiligen Bestandskonstruktionen zu vereinen.
Folgende Anforderungen sind maßgeblich für die Planung:

- Antriebe sowie Ober- und Unterwagen aus dem Bestand werden beibehalten
- Beibehaltung der globalen Abmaße der Schiebetore
- Beibehaltung der Anschlussmaße zum Massivbau sowie den Ober- und Unterwagen
- Lastbegrenzung auf Ober- und Unterwagen sowie Antriebe
- Reduzierung des variablen Auftriebs, um die Anpassung des Ballastwasser im Normalbetrieb verhindern zu können
- Anpassung des Hochwasserschutzziels auf NHN +8,0 m
- Umsetzung eines Gleichteilekonzepts
- Begrenzung des maximalen Tiefgangs im Transportfall auf 9,0 m

Die Schiebetore sind Teil der Deichlinie. Im Zuge des Klimawandels und der damit einhergehenden Erhöhung des Meeresspiegels wurde das Hochwasserschutzziel der Küstendeichlinie angehoben. Die neu zu planenden Schiebetore müssen einer Sturmflut von NHN +8 m standhalten. Trotz dieser Forderung müssen die Tore vollständig in den Bestand der Schleuse integrierbar sein. Zum Öffnen der Schleusenkammer müssen die Tore in die seitliche Torkammernische unter eine Bunkerdecke verfahren werden. Die Höhe der Bunkerdecke erlaubt nur das Einfahren des Tores bin zu einer Oberkante von NHN +7 m. Zur Sicherstellung der geforderten Sturmflutsicherheit müssen bei den Neubauten daher bewegliche, auf NHN +8 m ausfahrbare Stauwände geplant werden.

Im Betrieb des 2007 fertiggestellten Tores sind Komplikationen mit verbauten Trapezhohlsteifen aufgetreten. Es entsteht im Wasserhaltungsbetrieb ein veränderlicher Auftrieb des Tores. Dies führt zu einem dauerhaften Anpassen des Ballastwassers in den Tanks des Tores, damit die Auftriebssicherheit jederzeit gewährleistet ist. Gleichzeitig darf bei sinkendem Wasserstand keine Überlast an den Auflagerpunkten entstehen, welche Schäden an den Ober- und Unterwagen hervorrufen könnten. In der Neukonstruktion ist der veränderliche Auftrieb auf ein Minimalmaß zu reduzieren. Es sollen daher für die neuen Tore keine Trapezhohlsteifen verwendet werden. Gleichzeitig werden die Größe der Antriebs- und Pumpenräume, sowie der Wartungs- und Laufgangschächte genauestens untersucht und hinsichtlich der Größe und Lage optimiert.

Es soll ein optimaler Füllungszustand der Ballasttanks ermittelt werden, welcher es ermöglicht das Tor in den Grenzen des Schleusenbetriebes von NHN -4,40 m bis NHN +2,60 m ohne zusätzliche Ballastierung zu Betreiben und gegen Auftrieb zu sichern.
Für den lokalen Verkehr des Marienstützpunktes dienen die Tore als Überführung der Schleusenkammern. Ein öffentlicher Verkehr ist ausgeschlossen. Als größtes anzusetzendes Fahrzeug ist die örtliche Feuerwehr mit einem 18 t Löschfahrzeug vorgesehen.

Für die Bauwerksprüfung und routinemäßige Instandhaltungsarbeiten ist es notwendig, die Schiebetore ausbauen zu können. Der Ein- und Ausbau der Tore erfolgt durch das selbstständige Auf- und Abschwimmen und anschließende Ein- bzw. Ausfädeln aus der Tornische. Damit die Tore weiterbearbeitet werden können müssen diese in den Hafen geschleppt werden. Der Tiefgang des Hafens ist begrenzt. Die Tore müssen entsprechend der Anforderungen an den Tiefgang, an die Schwimmstabilität und das Auf- und Abschwimmen erfüllen. Der Erstmalige Antransport der Tore erfolgt planmäßig über den Seeweg. Für den außergewöhnlichen Fall ist zusätzlich das Anheben der Tore über den Schwimmkran „Rambiz“ zu berücksichtigen.

Die Herausforderungen bei der Planung ergeben sich zu:

- Einhaltung der Abmessungen und Randbedingungen des Bestandes
- Sicherstellen des Normalbetriebs und der Auftriebssicherheit bei wechselnden Tidewasserständen um im Sturmflutfall
- Gestiegene Anforderungen an den Hochwasserschutz – Bewegliche Stauwanderhöhung
- Einhaltung der maximalen und minimalen Auflasten der angrenzenden Lagerungskonstruktionen und Antriebskräfte
- Berücksichtigung verschiedenster Havariezustände (Leckwerden, Schiffsanprall, …)
- Eigenständiges Schwimmen der Tore unter Berücksichtigung von Tiefgang, Schwimmstabilität, Auftriebssicherheit und Kentersicherheit
- Fahrbahn für den örtlichen Verkehr
- Anschlagspunkte für außergewöhnlichen Anheben mittels Schwimmkran

Im Folgenden werden die maßgebenden Daten und Abmessungen zur Großen Seeschleuse Wilhelmshaven dargelegt:

Daten der Seeschleuse Wilhelmshaven:

• Länge zwischen den Schleusentoren		390 m
• Breite zwischen den Kammerwänden		60 m
• Lichte Weite zwischen den Toranschlägen		57 m
• Drempelhöhe		NHN -13,65 m
• Mitte Sohldichtung		NHN -13,90 m
• Fahrbahn		NHN +5,90 m
• OK Tor (Normalbetrieb)		NHN +7,00 m
• OK Tor (Sturmflut – Bewegliche Stauwanderhöhung)		NHN +8,00 m

Abmessungen des neuen Schiebetores:

• Länge		l = 60,00 m
• Breite		b = 10,00 m
• Breite am Oberwagen		b = 11,90 m
• Höhe		h = 20,00 m
• Höhe einschl. Berüstung		h = 21,10 m

Abmessungen der Überführung für den Verkehr:

• Fahrbahnbreite		b = 3,50 m
• Gewegbreite	ca.	b = 1,70 m
• Lichtes Maß zwischen den Schrammborden		b = 4,20 m

3. Entwicklung der neuen Schiebetore

3.1 Ergebnisse der Variantenuntersuchung

Für die Konstruktion des Verschlusskörpers wurden Rahmenkonstruktionsvarianten mit verschiedenen Aussteifungsmöglichkeiten untersucht.
Es handelt es sich um folgende Varianten:

- Rahmenkonstruktion aus Hauptrahmen, Zwischenrahmen und I-förmigen Hauptriegeln
- Rahmenkonstruktion bestehend aus Hauptträgern und geschlossenen trapezförmigen Hohlrippen
- Rahmenkonstruktion bestehend aus Hauptträgern, Wulstflachstahl und geschlossenen trapezförmigen Hohlrippen
- Rahmenkonstruktion bestehend aus Hauptträgern und Wulstflachstählen

Zwar unterscheiden sich die Gesamtmassen der einzelnen Varianten, aber aus statischen Gesichtspunkten sind alle betrachteten Varianten umsetzbar.
Als Vorzugsvariante für die Konstruktion des Verschlusskörpers wurde die Rahmenkonstruktion mit aussteifenden Wulstflachstählen ausgewählt. Diese Variante bietet den Vorteil, dass weder variabler Auftrieb durch die Wulstflachstähle erzeugt wird noch, dass korrosive Schädigungen infolge von

Wasseransammlungen auftreten können. Diese Eigenschaftskombination wird als vielversprechendste Variante für die Erfüllung der gestellten Anforderungen betrachtet.

Die bewegliche Stauwanderhöhung für den Schutz bei einer Sturmflut soll einseitig auf den Schiebetoren montiert werden, jedoch sind beide Stauwandflächen für die Montage der Stauwanderhöhung vorzubereiten. In der Vorplanung wurden vier Varianten entwickelt und verglichen, die diese Anforderungen erfüllen.

- Aufsatzklappe
- Hubschütz hinter der Stauwand
- Gehwegklappe
- außenliegendes Hubschütz

Alle vier Varianten erfüllen die gestellten Anforderungen mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen. Die Auswertung und Vergleich der Varianten hat gezeigt, dass die Variante: außenliegendes Hubschütz die Anforderungen am besten erfüllt und die Vorzugslösung darstellt. Die Montage der beweglichen Stauwanderhöhung erfolgt über die gesamte Breite der Schiebetore. Durch die Länge von fast 60 m ist es notwendig, die bewegliche Stauwanderhöhung in mehrere einzelne Hubschütze aufzuteilen. Die Hubschütze werden jeweils ca. 6 m breit gestaltet.
Bei einem Sturmflutereignis können die einzeln Schütztafeln um einen Meter in Staustellung verfahren werden. Der Antrieb erfolgt über hydraulische Zylinder. Jedes Hubschütz wird mit einem separaten Antrieb ausgestattet.

3.2 Konstruktion und Eigenschaften des Verschlusskörpers

Der Torkörper setzt sich aus einer geschweißten Konstruktion aus Stahl S355J2 + N zusammen. Tragende Komponente ist ein Rahmensystem aus geschweißten Hauptträgern. Die Längsaussteifungen der Stauwand innen erfolgen durch Wulstflachstahlprofile (HP-Profile), die Queraussteifungen durch geschweißte Hauptträger. Die Aussteifung des Torkörpers selbst erfolgt durch Stauwand-, Fahrbahn- und Gehweg-, Schwimmkastendecken- und -bodenblechen, Pumpen-& Antriebsräumen sowie vier Schützschächten, ausgesteift mit HP-Profilen.

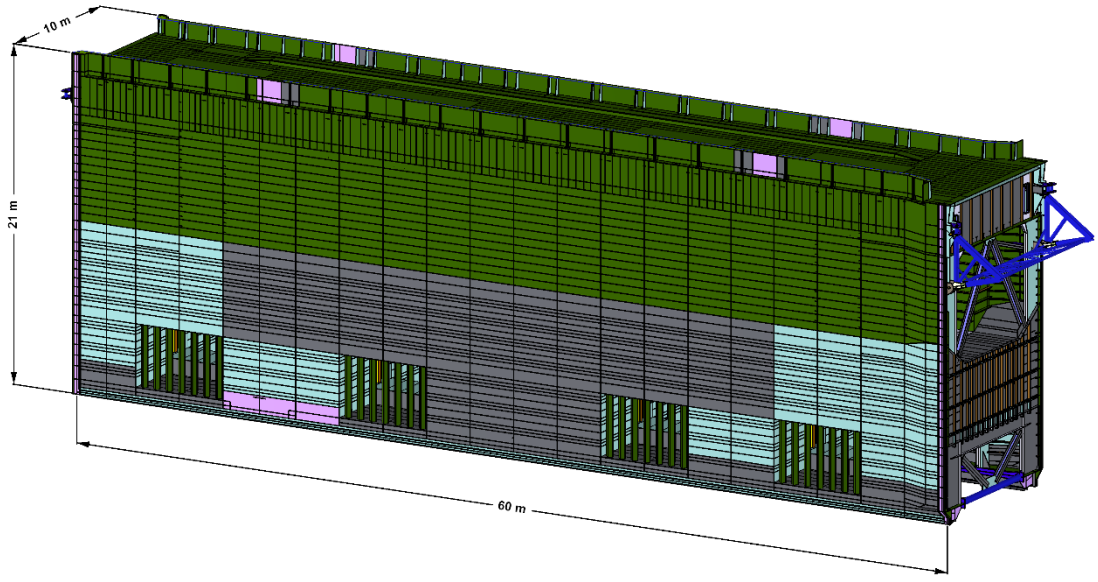

Abb. 1 Statisches Modell des Schiebetores – Gesamtübersicht

Das Gesamtgewicht des Stahlbaus eines Schiebetores beträgt rund 1.750 t. Für die Einhaltung aller Randbedingungen und zur Anpassung der Schwerpunktlage für die Schwimmstabilität wird im unteren Bereich des Tores rund 600 t Ballastbeton angeordnet.
Im Torinneren befinden sich 16 Schwimmkastenzellen. Diese werden über Ballast- und Lenzpumpen mit manuell und elektrisch betriebenen Schiebern gefüllt und gelenzt.
Des Weiteren befinden sich im Torinneren vier Schützschächte mit Durchlassöffnungen und jeweils zwei Rollschützen. Diese werden über hydraulische Antriebe gezogen bzw. geschlossen. In Höhe der Durchlassöffnungen werden im Stauwandbereich lotrechte Störwinkel angebracht, welche die Strömungsenergie des durchströmenden Wassers innerhalb des Durchflusskanals weitgehend umwandeln.

Abb. 2 Längsschnitt durch Schiebetor mit Füllschützen, Ober- und Unterwagen

Das Torinnere ist durch Montage- und Laufstege mit GFK-Gitterrosten begehbar.
Weiterhin befinden sich in den Stirnseiten des Tores vier Eckschächte (Treppen- & Wartungsschacht), zwei Pumpenräume und zwei Antriebsräume, die über die Begehung bzw. Treppenschächte erreichbar sind und welche die Funktion von Auftriebskörpern erfüllen.

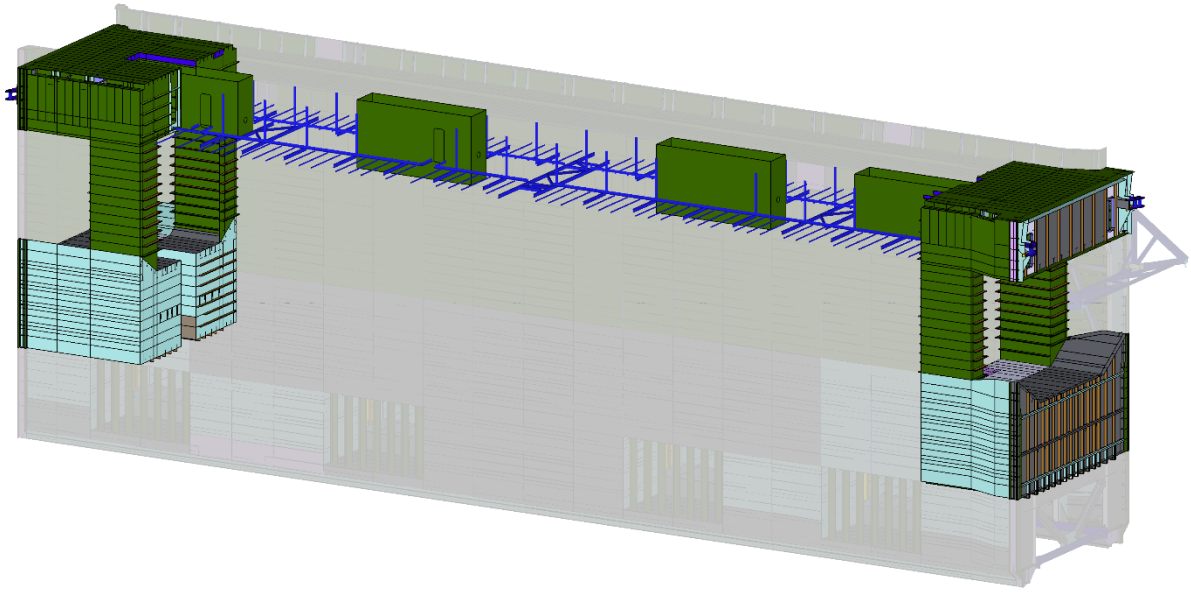

Abb. 3 Laufgangebene mit Antriebs- und Pumpenräume sowie den vier Eckschächten

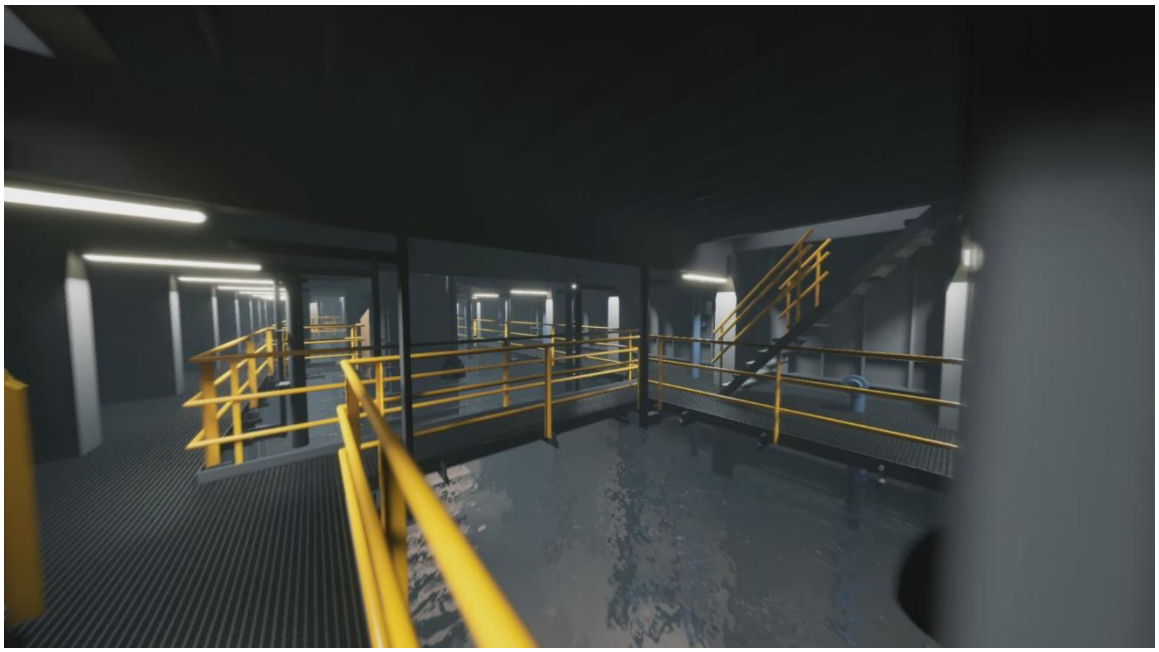

Abb. 4 Visualisierung Laufgangebene

Der Torkörper beinhaltet weiterhin die Funktion einer Brücke mit baulich getrennter Fahrbahn und Gehwegen mit entsprechender Absturzsicherung in Form einer geschlossenen Stahlblechbrüstung. Im Endbereich des Tores sind auf Gehweghöhe feste Geländer als Absturzsicherung vorzusehen.
Die waagerechte und senkrechte Abdichtung des Tores erfolgt im geschlossenen Zustand an den Schleusendrempeln, Torkammer- und Anschlagnischenseiten. Die Dichtungen werden als PE-UHMW ausgeführt und so befestigt, dass sie die maximal wirkenden Kräfte schadlos aufnehmen. Die Seitendichtungen übernehmen ebenfalls die Funktion des Lastabtrags in das Massivbauwerk.

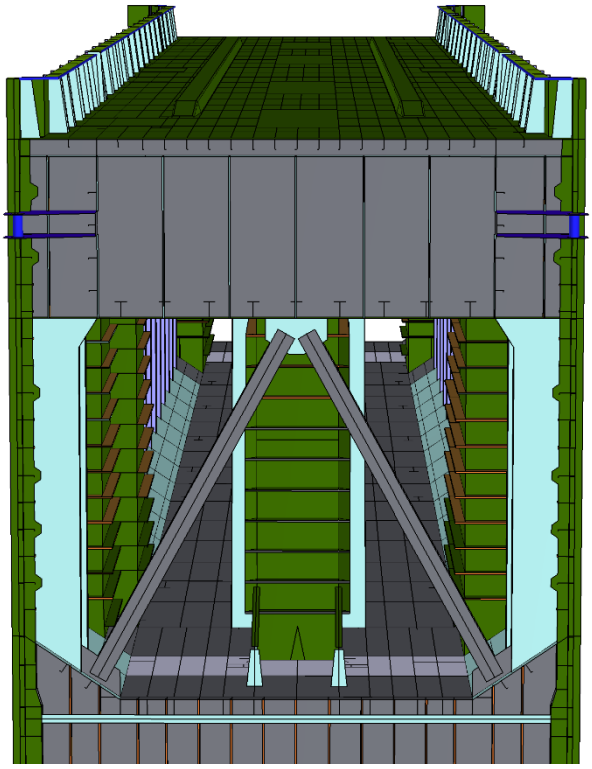

Abb. 5 Perspektivische Ansicht auf die Fahrbahnebene und die Tankdecke

Für die Auflagerung des Tores auf dem Unterwagen und dem Oberwagen sind Aufnahmekonstruktionen vorgesehen, die an die vorhandenen Ober- und Unterwagen angepasst sind. Unter dem Tor sind Absetzkufen angeordnet, welche als Aufstandspunkte für ein trockengelegtes Tor und für den Notbetrieb zum einmaligen Schließen des Tores bei beschädigtem Ober- bzw. Unterwagen dienen.
Für extreme Sturmflutereignisse ist seeseitig eine bewegliche Hochwasserschutzwand vorgesehen. Diese ist über die komplette Länge der Schiebetore angeordnet und kann mithilfe von hydraulischen Antrieben um 1 m angehoben werden. Im Randbereich werden temporär montierbare Passstücke benötigt, um den Anschluss zur landseitigen Hochwasserschutzwand herstellen zu können.

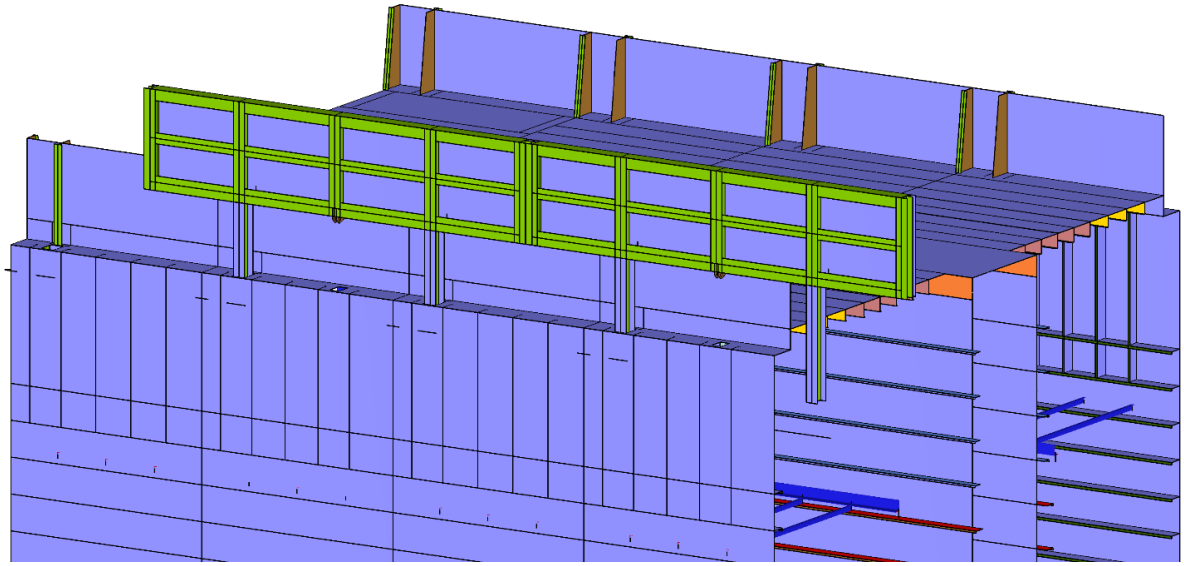

Abb. 6 Mobile Stauwanderhöhung in gehobener Stellung auf dem Schleusentor

Im Fall eines Extremhochwassers bzw. einer Sturmflut wird das Schleusentor für den Schleusenbetrieb außer Betrieb gesetzt. In diesen Fällen können höhere statische Lasten vom Ober- und Unterwagen aufgenommen werden. Diese werden benötigt, damit die Auftriebssicherheit jederzeit sichergestellt ist.
Im Fall des steigenden Hochwassers ist das Tor mit einer Schwerkraftbefüllung versehen. Dadurch werden die Ballasttanks in einer definierten Reihenfolge mit Seewasser restlos gefüllt. Die Flut- und Lenzanlage braucht hierfür nicht aktiviert zu werden. So wird ein Ausfallrisiko und eine Fehlfunktion, welche zum Aufschwimmen, und somit zum Worst case Szenario führen würde ausgeschlossen.
Bei Rückgang der Fluten werden ab einem definierten Wasserpegel die Ballasttanks auf ein bestimmtes Niveau gelenzt, damit das Tor im Normalbetrieb weiterverwendet werden kann. Der Ballast in den Tanks ist mit dem restlichen Gewichten des Tores so abgestimmt, dass dieser im Normalbetrieb nicht angepasst werden muss. Die ungleiche Gewichtsverteilung innerhalb des Tores wird zusätzlich durch das Ballastwasser ausgeglichen.

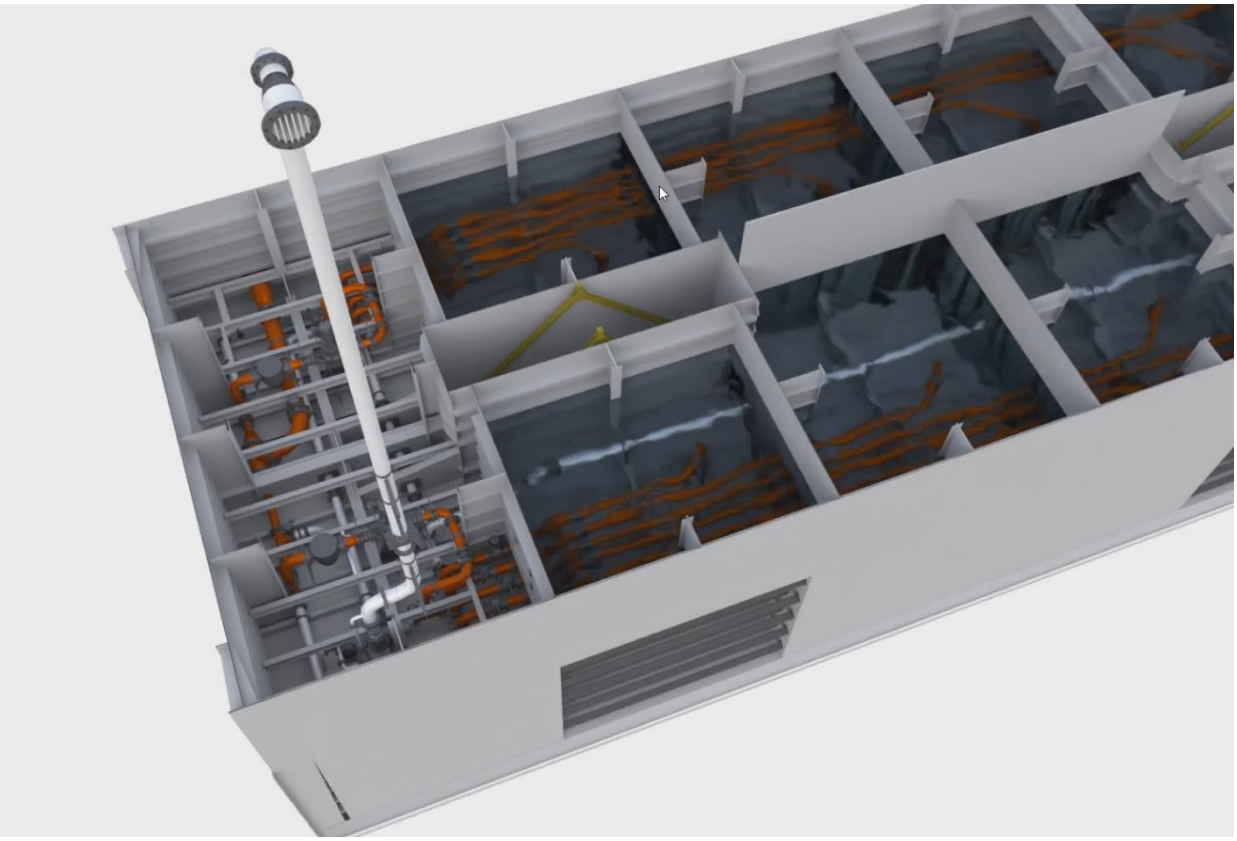

Abb. 7 Darstellung Lenzanlage (Orange), Pumpenraum & Schwimmtanks

4. Zusammenfassung

Mit Blick auf den zukünftigen Anstieg der Meeresspiegel und den resultierenden höheren Belastungen werden neue höhere Anforderungen an den Küstenschutz gestellt. Die Seeschleuse Wilhelmshaven muss den Küstenschutz und einen zuverlässigen Schleusenbetrieb der angrenzenden Schifffahrt insbesondere der Marine sicherstellen. Die enormen Abmaße und daraus resultierenden Gewichte der Schiebetore stellen eines der größten Planungsprojekte des Stahlwasserbaus dar. Die erweiterten Randbedingungen aus den neuen Anforderungen und gleichzeitig den Bestandsbauerwerken, zeugen von der Komplexität des Vorhabens. Dennoch ist es im Zuge der Planung gelungen den Anforderungen gerecht zu werden und so ein Schleusentor zu entwerfen welches den zukünftigen Herausforderungen standhält. Das gesamte Modell bzw. der gesamte Planungsprozess wird vollständig in 3-D-Modellen abgebildet. Zur Visualisierung und zum Verständnisgewinn wurden in den Planungsbesprechungen 3D-Live-Begehungsmodelle eingesetzt. Mit diesem Tool wurde der Auftraggeber und der spätere Betreiber der Anlage von Beginn an vollständig in die Planung integriert und konnten so Einfluss nehmen auf die Konstruktion und deren spätere Handhabung. Nach Fertigstellung des Projekts werden die Schleusentore den Hafen von Wilhelmshaven für weitere 70 Jahre zuverlässig schützen und der Schifffahrt zugutekommen.

5. Literaturverzeichnis

Wasserstraßenschifffahrtsamt Weser-Jade-Nordsee (2021): Verladung Schiebtor auf den Schwimmponton

Ingenieurgemeinschaft Wilhelmshaven (2023): Entwurf-AU – Erläuterungsbericht, Magdeburg

Ingenieurgemeinschaft Wilhelmshaven (2023): Statische Berechnung Schiebetor, Füllschütz, Bewegliche Stauwanderhöhung, Magdeburg.