



**WSV.de**

Wasser- und  
Schifffahrtsverwaltung  
des Bundes

**Wasser- und Schifffahrtsamt Emden**

---

## **Aktionsprogramm Ems zur Reduzierung der Verschlickung in der Unterems**

---

### **Studie zur grundsätzlichen technischen Machbarkeit einer Einengung des Fließquerschnitts der Ems im Bereich des Emssperrwerks bei Gandersum**

---

**Bericht Nr. 90122-04a**

---

**Hamburg, 26. Februar 2009**

---

Planungsgemeinschaft



INGENIEURGESELLSCHAFT MBH



Ingenieurbüro Rapsch und Schubert  
Stahlwasserbau Consulting GmbH

<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
<b>1 Veranlassung und Aufgabenstellung</b>	<b>1</b>
<b>2 Planungsrandbedingungen</b>	<b>3</b>
2.1 Bestehende Funktionen des Sperrwerkes	3
2.2 Schifffahrt	5
2.2.1 Verkehrssituation	5
2.2.2 Verkehrliche Planungsziele	6
2.3 Modelluntersuchung der Bundesanstalt für Wasserbau – Grundlage für die bautechnischen Lösungen	7
2.4 Wasserstände und Lastannahmen	11
<b>3 Von der bautechnischen Lösungsidee zu den zu untersuchenden Varianten</b>	<b>18</b>
3.1 Lösungsideen	18
3.1.1 Lage des Schwellenbauwerkes	18
3.1.2 Art der Verschlusskörper zur Ausbildung der Schwelle	21
3.1.3 Lage der Schleusen	25
3.1.4 Schleusentorkonstruktionen	29
3.1.5 Konstruktive Ausbildung der Schleusenkamerwände und -sohle	30
3.2 Festlegung der Ausschlusskriterien – Mindestbedingungen für Lösungsideen	30
3.3 Diskussion der Lösungsideen	31
3.3.1 Lage des Schwellenbauwerkes	31
3.3.2 Art der Verschlusskörper zur Ausbildung der Schwelle	32
3.3.3 Lage der Schleuse	33
3.3.4 Schleusentorkonstruktionen	34
3.3.5 Konstruktive Ausbildung der Schleusenkamerwände und -sohle	34
3.4 Zu untersuchende Varianten	34
3.4.1 Zu untersuchende Teilvarianten	34
3.4.2 Zu untersuchende Gesamtvarianten	35
<b>4 Darstellung und Wertung der Teilvarianten</b>	<b>37</b>
4.1 Feste Schwellen	37
4.1.1 Beschreibung der Varianten	37
4.1.2 Bewertung der Teilvarianten für die feste Schwelle	43
4.2 Bewegliche Schwellen	44
4.2.1 Beschreibung der Varianten	44
4.2.2 Bewertung der beweglichen Verschlüsse	54
4.3 Schleusentorsysteme und Befüllrichtungen	56
4.3.1 Beschreibung der Teilvarianten	56
4.3.2 Bewertung der Schleusentorvarianten	62
4.4 Bautechnische Lösungen der Schleusenammer	63
4.4.1 Beschreibung der Varianten	63
4.4.2 Bewertung der bautechnischen Lösungen für die Schleusenammer	66
<b>5 Gesamtvarianten</b>	<b>67</b>
5.1 Beschreibung der Gesamtvarianten	67

5.1.1	Gesamtvariante A.1: „Schwelle oberhalb des Sperrwerkes mit Schleuse am nördlichen Ufer“	67
5.1.2	Gesamtvariante B.1: „Schwelle im Sperrwerksquerschnitt mit Schleuse in der nördlichen Nebenöffnung“	69
5.1.3	Gesamtvariante B.2: „Schwelle im Sperrwerksquerschnitt mit Schleuse in Nebenöffnung 2“	71
5.2	Bauablauf	75
5.2.1	Bauablauf Variante A.1	75
5.2.2	Bauablauf Variante B.1	77
5.2.3	Bauablauf Variante B.2	79
5.3	Bewertung der Gesamtvarianten	79
5.3.1	Technische Qualität	80
5.3.2	Nautische Qualität	84
5.3.3	Beeinflussung des Sperrwerksbetriebs	86
5.3.4	Kosten	88
5.3.5	Zusammenfassende Bewertung	89
<b>6</b>	<b>Ergänzende Untersuchung</b>	<b>93</b>
6.1	Überprüfung der Schwellenhöhe	93
6.2	Überprüfung der Sperrwerksfunktion „Ablassen nach Aufstau“	94
6.3	Überprüfung Sturmflutentlastung	95
6.4	Möglichkeiten zur Errichtung der Doppelkammerschleuse	96
6.5	Kostenminderung bei niedrigerer Schwellenhöhe	97
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>99</b>
<b>8</b>	<b>Verwendete Unterlagen</b>	<b>101</b>

	<b>Seite</b>
<b>Tabellen</b>	
Tabelle 2-1: Auslegungswasserstände des Emssperrwerks	11
Tabelle 2-2: Eintrittszeiten und Wasserstände des Tideniedrigwassers ober- und unterstrom der Schwelle	13
Tabelle 2-3: Eintrittszeitpunkt, Wasserstand, Abfluss und maximale Wasserspiegeldifferenz bei Ebbestrom an der Schwelle	14
Tabelle 2-4: Bemessungsrelevante Wasserstände für die Schwelle bei Kehrung gegen höheren Wasserstand oberstrom der Schwelle, ablaufend Wasser	15
Tabelle 2-5: Eintrittszeitpunkt, Wasserstand, Abfluss und maximale Wasserspiegeldifferenz bei Flutstrom an der Schwelle	16
Tabelle 2-6: Bemessungsrelevante Wasserstände für die Schwelle bei Kehrung gegen höheren Wasserstand unterstrom der Schwelle, auflaufend Wasser	17
Tabelle 3-1: Auflistung gängiger Schleusentorsysteme mit ihren kennzeichnenden Eigenschaften	29
Tabelle 5-1: Kosten der Gesamtvariante A.1	68
Tabelle 5-2: Kosten der Gesamtvariante B.1	70
Tabelle 5-3: Kosten der Untervariante 1 zur Gesamtvariante B.1	71
Tabelle 5-4: Kosten der Gesamtvariante B.2	73
Tabelle 5-5: Kosten der Untervariante 1 zur Gesamtvariante B.2	74
Tabelle 5-6: Kosten der Untervariante 2 zur Gesamtvariante B.2	74
Tabelle 5-7: Übersicht über die Investitionskosten (netto) der bewerteten Varianten	88
Tabelle 5-8: Tabellarische Zusammenfassung der Bewertung	90
Tabelle 5-9: Saldierung der Bewertungsergebnisse	91
Tabelle 6-1: Investitionskosten der Variante B.2 mit der Untervariante 2 Doppelkammerschleuse	97
Tabelle 6-2: Vergleich der Investitionskosten Schwelle bei NN -1,50 m mit Schwelle bei NN -2,0 m	98
<b>Abbildungen</b>	
Abbildung 1-1: Idealisierte Tidekurven und zugehörige idealisierte querschnittsgemittelte Strömungsgeschwindigkeiten	1
Abbildung 2-1: Luftaufnahme des Emssperrwerkes	3
Abbildung 2-2: Grundriss und Ansicht des Emssperrwerkes	4
Abbildung 2-3: Auszug aus dem numerischen Modell der BAW, Darstellung der modelltechnischen Realisierung der Schwelle	8
Abbildung 2-4: Auszug aus dem numerischen Modell der BAW, 3-D-Darstellung der modelltechnischen Realisierung der Schwelle	8
Abbildung 2-5: Vergleich vollkommener (a) und unvollkommener (b) Wehrüberfall sowie nahezu unbeeinflusste Überströmung (c) (BOLLRICH & PREIBLER 1992)	9
Abbildung 2-6: Wasserstandszeitreihe eines Spring-Nipp-Zyklus gemäß numerischer Modeluntersuchung Bundesanstalt für Wasserbau	12
Abbildung 3-1: Lageplan Ems bei Gandersum, Lage der Schwelle und Schleuse im Querschnitt des Emssperrwerkes	19

Abbildung 3-2:	Lösungsidee für die Lage der Schleuse oberhalb des Sperrwerksquerschnitts	20
Abbildung 3-3:	Lösungsidee für die Lage der Schwelle unterhalb des Sperrwerks	20
Abbildung 3-4:	Grundriss des Sperrwerks mit Anordnung einer festen Schwellenlinie und beweglichem Verschluss in der Hauptschifffahrtsöffnung	22
Abbildung 3-5:	Querschnitt durch Nebenöffnung mit Hubtor, Anordnung eines Betonkörpers zur Ausbildung der Schwelle	22
Abbildung 3-6:	Querschnitt durch Hauptschifffahrtsöffnung, „Anbau“ eines beweglichen Verschlusses als Wehrklappe oder Sektorwehr	24
Abbildung 3-7:	Querschnitt durch Hauptschifffahrtsöffnung, „Anbau“ eines beweglichen Verschlusses als Wehrklappe oder Sektorwehr	24
Abbildung 3-8:	Mögliche Lagen der Schleuse bei Anordnung der Schwelle im Bereich des Sperrwerks	25
Abbildung 3-9:	Lage der Schleuse in der Nebenöffnung 1 (NÖ1)	26
Abbildung 3-10:	Lage der Schleuse in der Nebenöffnung 2 (NÖ2)	27
Abbildung 3-11:	Lage der Schleuse in der Binnenschifffahrtsöffnung (BSÖ)	28
Abbildung 3-12:	Lage der Schleuse in der Hauptschifffahrtsöffnung (HSÖ)	29
Abbildung 4-1:	Querschnitt, feste Schwelle in Schüttsteinbauweise	37
Abbildung 4-2:	Querschnitt, feste Schwelle, Bauweise mit Kern aus geotextilen Containern	39
Abbildung 4-3:	Querschnitt, feste Schwelle in Spundwandbauweise	40
Abbildung 4-4:	Ansicht, feste Schwelle in Spundwandbauweise	40
Abbildung 4-5:	Querschnitt, feste Schwelle unter Sperrwerkstor	42
Abbildung 4-6:	Querschnitt, bewegliche Schwelle in Drehsegmentbauweise	45
Abbildung 4-7:	Grundriss, bewegliche Schwelle in Drehsegmentbauweise	46
Abbildung 4-8:	Querschnitt, bewegliche Schwelle in Klappenbauweise	49
Abbildung 4-9:	Grundriss, bewegliche Schwelle in Klappenbauweise	50
Abbildung 4-10:	Querschnitt durch einen Hubtorverschluss des Sperrwerks mit eingesetztem Obermeyer-Wehr	51
Abbildung 4-11:	Querschnitt durch das Kreisdrehsegment in Schwellenstellung	52
Abbildung 4-12:	Darstellung des Drehsegments als Schleusentorverschlussystems	57
Abbildung 4-13:	Darstellung des Sektortores als Schleusentorverschlussystems	59
Abbildung 4-14:	Darstellung des Stemmtores als Schleusentorverschlussystems	61
Abbildung 4-15:	Querschnitt Schleusenkammerwände in Massivbauweise mit nach verankerter undurchlässiger Schleusenkammersohle	64
Abbildung 4-16:	Querschnitt Schleusenkammerwände in Fangedammbauweise mit durchlässiger Schleusenkammersohle	65
Abbildung 5-1:	Lageplan der Gesamtvariante A.1	67
Abbildung 5-2:	Lageplan der Gesamtvariante B.1	69
Abbildung 5-3:	Lageplan der Gesamtvariante B.2	71
Abbildung 6-1:	Lageplan der Gesamtvariante B.2 mit der Untervariante3 - Doppelkammerschleuse	96

### **Anlagen**

- Anlage 1 Kostenberechnung
- Anlage 2 Berechnungen Wehrabfluss über der Schwelle
- Anlage 3 Zeichnungen Stahlwasserbau

### **Bearbeiter**

Dr.-Ing Peter Ruland  
Dipl.-Ing. Jörn Uecker  
Dipl.-Ing. Sören Latte  
Dipl.-Ing. Hans Rapsch  
Dipl.-Ing. Klaus-Dieter Schubert

**Zeichnungsverzeichnis**

<b>Nr. Zeichnungs-Nr.</b>	<b>Titel</b>	<b>Maßstab</b>
1. 90122-S-01	Übersichtsplan / Istzustand	1 : 25.000
2. 90122-S-A1-01	Variante GV-A.1 / Lageplan	1 : 2.500
3. 90122-S-A1-02	Variante GV-A.1 / Einfachschleuse 27 x 225 m	1 : 500
4. 90122-S-B1-01	Variante GV-B.1 / Lageplan	1 : 2.500
5. 90122-S-B1-02	Variante GV-B.1 / Einfachschleuse 27 x 225 m	1 : 500
6. 90122-S-B2-01	Variante BV-B.2 / Lageplan mit Einfachschleuse Stemmtor	1 : 2.500
7. 90122-S-B2-02	Variante BV-B.2 / Lageplan mit Einfachschleu- se/Sektortor	1 : 2.500
8. 90122-S-B2-03	Variante BV-B.2 / Lageplan mit Doppelschleuse	1 : 2.500
9. 90122-S-B2-04	Variante BV-B.2 / Einfachschleuse 27 x 225 m/Stemmtor	1 : 500
10. 90122-S-B2-05	Variante BV-B.2 / Einfachschleuse 27 x 225 m/Sektortor	1 : 500
11. 90122-S-B2-06	Variante BV-B.2 / Doppelschleuse 27 x 225 m / 12,5 x 225 m	1 : 500
12. 90122-S-B2-07	Variante BV-B.2 / Einfachschleuse Außenhaupt/ Draufsicht und Schnitte	1 : 250
13. 90122-S-B2-08	Variante BV-B.2 / Einfachschleuse Binnenhaupt/ Draufsicht und Schnitte	1 : 250
14. 90122-S-SW-01	Variante GV-A.1 / Bewegliche Schwelle/ Segment- bzw. Klappenverschluss	1 : 250
15. 90122-S-SW-02	Variante GV-A.1 / Feste Schwelle Steinschüttdamm	1 : 1.000/1 : 250
16. 90122-S-SW-03	Variante GV-B.1 und B.2 / Feste Stahlschwelle	1 : 1.000/1 : 100
17. 90122-S-SW-04	Variante GV-B.1 und B.2 / Bewegliche Schwelle - HSÖ Segment- bzw. Klappenverschluss	1 : 250
18. 90122-S-SW-05	Variante GV-B.1 / Bewegliche Schwelle - BSÖ Segment- bzw. Klappenverschluss	1 : 250
19. 90122-S-SW-06	Variante GV-B.1 / Feste Schwelle Steinschütt- damm und Spundwand	1 : 1.000/1 : 250 1 : 100/1 : 50
20. 90122-S-SW-07	Variante GV-B.2 / Feste Schwelle Steinschütt- damm und Spundwand	1 : 1.000/1 : 250 1 : 100/1 : 50

## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Mit Datum vom 17. November 2008 hat das Wasser- und Schifffahrtsamt Emden die Planungsgemeinschaft IMS Ingenieurgesellschaft mbH und Ingenieurbüro Rapsch und Schubert GmbH (IMS & IRS) mit der Abfassung einer Studie zu konstruktiven Planungsleistungen zur Einengung des Querschnittes der Ems im Bereich des Emssperrwerkes bei Gandersum beauftragt. Grundlage der Studie sind die in Kapitel 8 aufgelisteten Unterlagen.

Die in den vergangenen Jahrzehnten durchgeführten Ausbaumaßnahmen an der Ems haben zu tidedynamischen Veränderungen (z. B. Veränderungen der Tidewasserstände und der Tidedrömungsgeschwindigkeiten) geführt. Diese Veränderungen können besonders gut anhand einer Tidekurve der Ems, beispielsweise in Höhe Papenburg, verdeutlicht werden.

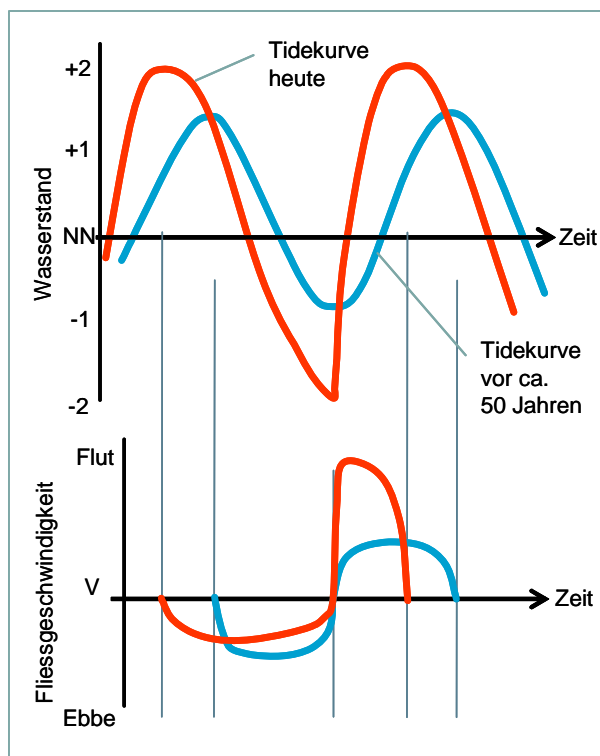


Abbildung 1-1: Idealierte Tidekurven und zugehörige idealisierte querschnittsgemittelte Strömungsgeschwindigkeiten

Abbildung 1-1 zeigt beispielhaft in idealisierter Form, die beobachtbare Veränderung. Im oberen Teil der Grafik sind Tidekurven, also der Wasserstand, über die Zeit dargestellt. Die blaue Linie zeigt die Tidekurve, wie sie vor etwa 50 Jahren bei Papenburg bestanden hat, die rote Linie stellt die Tidekurve am gleichen Ort zum heutigen Zeitpunkt dar. Die Tidekurve von vor 50 Jahren ist gekennzeichnet durch eine Symmetrie und etwa gleichlange Flut- und Ebbe-phasen. Im Vergleich dazu zeigt die heutige Tidekurve zunächst eine deutliche



Erhöhung des Tidehubs, aber auch eine erhebliche Verkürzung der Flut und eine deutliche Verlängerung der Ebbephase.

Im unteren Teil der Abbildung sind Folgen dieser Veränderungen auf die mittleren Tideströmungsgeschwindigkeiten gezeigt. Durch die Erhöhung des Tidevolumens, also des Wasservolumens, welches mit jeder Tide die Unterems auf- oder abwärts strömt, wie auch durch die Verkürzung der Flutphase, sind die Strömungsgeschwindigkeiten bei Flutstrom extrem stark angestiegen, während die Strömungsgeschwindigkeit des Ebbestroms tendenziell gleich stark geblieben ist bzw. sich sogar vermindert hat. Weil die Fähigkeit einer Strömung Sediment zu transportieren proportional zum Quadrat der Fließgeschwindigkeit ist, kann auf diese Weise der Flutstrom wesentlich mehr Sediment stromauf transportieren als der Ebbestrom wieder stromab fördert. Diesen Prozess, der auch an anderen für die Schifffahrt vertieften Ästuaren beobachtet werden kann, bezeichnet man als „tidal pumping“.

Die in dieser Studie zu untersuchende Durchflusssteuerung im Bereich des Emssperrwerkes bei Gandersum zielt auf eine Rückentwicklung der Tidekurve ab. Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg, haben gezeigt, dass durch den Einbau einer Sohlschwelle in der Nähe des Emssperrwerkes das Tideniedrigwasser in der Unterems stromauf der Schwelle deutlich angehoben werden kann. Gleichzeitig wird das Tidevolumen reduziert, die Tidekurve wird symmetrischer und insbesondere die Flutphase wird verlängert. Diese Änderungen bewirken eine deutliche Reduktion der Flutstromgeschwindigkeiten und damit einen deutlichen Rückgang des durch den Flutstrom verursachten stromauf gerichteten Sedimenttransport. Damit einher geht eine entsprechende Reduzierung des Unterhaltungsaufwandes, der Baggerung der Fahrrinne in der Unterems.

Aufgabe der Studie ist die Untersuchung von bautechnischen Möglichkeiten zur Errichtung der Sohlschwelle in der Nähe des Emssperrwerkes sowie die Abschätzung der für dieses Bauwerk zu erwartenden Kosten.

In Kapitel 2 dieses Berichtes werden die wesentlichen Planungsrandbedingungen, die Grundlage der zu entwickelnden bautechnischen Lösungen sind, zusammengestellt. Aus einer Fülle von Lösungsideen werden zunächst sinnvolle und realistische Teil- sowie Gesamtvarianten für die weitere Untersuchung „aufkonzentriert“. Dieser Schritt ist in Kapitel 3 dokumentiert. Kapitel 4 stellt dann die untersuchten Teilvarianten näher vor und bewertet diese gleichzeitig im Hinblick auf ihre mögliche Verwendung bei den Gesamtvarianten. Die Gesamtvarianten, denen das Kapitel 5 gewidmet ist, stellen dann vollständige bautechnische Lösungen des kombinierten Bauwerkes aus Schwellen und Schleusen dar, die in unterschiedlicher Lage und technischer Ausprägung alle gleichermaßen das Planungsziel erreichen. Diese Varianten werden, soweit dies bei dem der Machbarkeitsstudie zugrunde liegenden Planungszustand möglich ist, bewertet. Die Studie schließt in Kapitel 6 mit einigen ergänzenden Untersuchungen ab.

## 2 Planungsrandbedingungen

### 2.1 Bestehende Funktionen des Sperrwerkes

Das Emssperrwerk wurde im Jahre 2002 fertig gestellt und im September 2002 in Betrieb genommen. Abbildung 2-1 zeigt eine Luftaufnahme und Abbildung 2-2 Grundriss und Ansicht des Sperrwerkes mit den kennzeichnenden Bauwerkselementen und Abmessungen.



Abbildung 2-1: Luftaufnahme des Emssperrwerkes

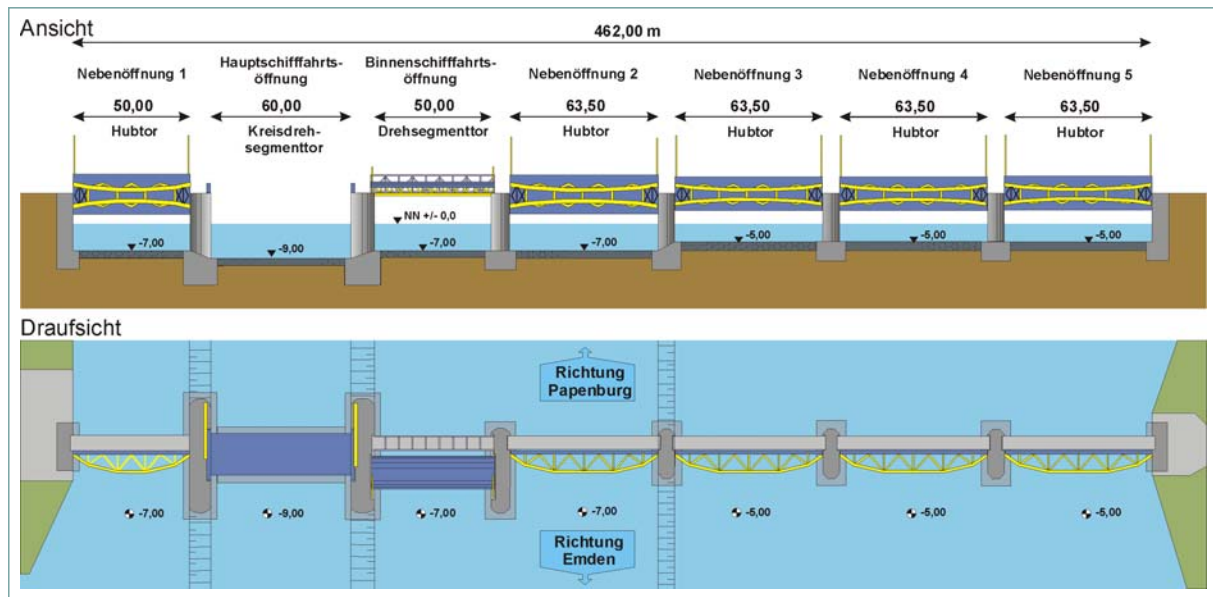


Abbildung 2-2: Grundriss und Ansicht des Emssperrwerkes

Die derzeitigen Aufgaben des Sperrwerkes sind zum einen das Kehren von Sturmfluten und zum anderen das Aufstauen der Unterems für die Überführung von Kreuzfahrtschiffen der Meyerwerft in Papenburg.

Grundlage der Planung ist die Anforderung, dass durch den Bau der Schwelle die Funktionen des Sperrwerkes nicht eingeschränkt werden dürfen.

Das Emssperrwerk ist mit einer Verschlusslinie ausgestattet. Diese wurde bei der Planung des Sperrwerkes als ausreichend erachtet, weil die oberstrom des Sperrwerkes nach wie vor vorhandenen Deiche die Funktion einer zweiten Hochwasserschutzlinie übernehmen. Bei für die Schwelle oder Schleuse ggf. notwendigen Um- und Einbauten in die Sperrwerkslinie kann deswegen davon ausgegangen werden, dass ein Verschluss für die Sturmflutkehrung ausreichend ist, es sei denn, der Verschluss unterliegt im Vergleich zu den bestehenden Sperrwerksverschlüssen einer besonderen Gefährdung durch die Schifffahrt. Dieser Gefährdung könnte auch durch begleitende Maßnahmen, wie Leitwerke, Schifffahrtsregelung oder Stoßschutzeinrichtungen, begegnet werden.

Für den Staufall muss die Funktionalität der in den Sperrwerkspfeilern eingebauten Pumpen uneingeschränkt erhalten bleiben, die zur Verkürzung der notwendigen Stauzeit nach Schließung des Sperrwerkes Wasser noch oberstrom pumpen. Ferner darf aufgrund vielfältiger anderer Restriktionen die Stauzeit nicht verlängert werden und muss die Stauraumentlastung nach der Überführung des Werftschiffes von Papenburg zum Sperrwerk in gleicher Weise wie bisher durchführbar sein.

## 2.2 Schifffahrt

### 2.2.1 Verkehrssituation

Das Wasser- und Schifffahrtsamt Emden hat statistische Daten zur Berufsschifffahrt auf der Ems erfasst (siehe Kapitel 8). Danach ergibt sich die im folgenden vereinfacht zusammengefasste Verkehrssituation:

- 97% der auf der Ems verkehrenden Berufsschifffahrt sind Binnenschiffe (ca. 9.000 Schiffe pro Jahr). Im überwiegenden Teil sind dies Europaschiffe und Großmotorgüterschiffe (GMS). Die Binnenschiffe fahren hauptsächlich zur oder kommen von der Schleuse Herbrum, der Eingangsschleuse zum Dortmund-Ems-Kanal (DEK). Die Verkehrsprognose von PLANCO für die Nordstrecke des DEK sieht für 2025 den Anteil an GMS weiter steigen und den Einsatz von übergroßen GMS (ÜGMS). Die Europaschiffe bleiben mit ca. 50 % jedoch die bedeutendste Schiffsgröße
- 3% der Berufsschifffahrt auf der Ems bildet die sogenannte Küstenschifffahrt (ca. 90 Schiffe pro Jahr), deren maximale Abmessungen zur Zeit bei 125 m Länge, knapp 18 m Breite und bis 5,90 m Tiefgang liegen. Die größte Seeschleuse oberhalb des Emssperrwerkes hat eine Länge/Breite von 192/26 m. Besonders zu beachten sind noch die Segmenttransporte zur Meyerwerft, die eine besondere lichte Höhe erfordern.
- Ferner werden etwa 2 – 3 mal pro Jahr tiefgehende Schiffe der Meyerwerft von Papenburg zum Sperrwerk überführt, die nicht unter normalen Tidebedingungen die Ems passieren. Diese Schiffe sind in der Regel so groß, dass eine Anpassung der Schleusengröße an diese Schiffsabmessungen unwirtschaftlich wäre. Es ist daher Planungsgrundlage, diese Schiffe wie bisher per Dockschleusung durch die Hauptschiffahrtsöffnung passieren zu lassen. Anzumerken ist weiterhin, dass regelmäßig Schiffssegmente von anderen europäischen Werftstandorten über die Ems und durch das Sperrwerk nach Papenburg transportiert werden. Die äußeren Abmessungen dieser Segmente, insbesondere deren Breite, sind so groß, dass auch für diese, vergleichsweise seltenen Schiffspassagen, die Dockschleusung durch das Sperrwerk vorgesehen ist.
- Weiterhin wurden durch das WSA Emden Verkehrsbeobachtungen zur Häufigkeitsverteilung der Schiffe durchgeführt. Danach nutzt insbesondere die Binnenschifffahrt die vorhandene Tideströmung aus. Außerdem bestehen für die Schifffahrt Tiefgangsrestriktionen im Unterwasser der Schleuse Herbrum. Diese beiden Sachverhalte führen dazu, dass die Binnenschifffahrt intermittierend das Sperrwerk passiert und damit besondere Verkehrsbelastungsspitzen für eine zu dimensionierende Schleuse erzeugt.

### 2.2.2 Verkehrliche Planungsziele

Selbstverständlich ist ein anzustrebendes Planungsziel, die Gestaltung von Schwelle und Schleuse so vorzunehmen, dass im Ergebnis möglichst geringe Schifffahrtseinschränkung entstehen. Hierzu gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

- Die Schleuse oder die Schleusen können genügend leistungsfähig dimensioniert werden, um Wartezeiten möglichst gering zu halten.
- Die Schwelle kann über ein möglichst großes Zeitfenster des Tidezyklus, z. B. während der Hochwasserphase, für die Schifffahrt komplett geöffnet werden.

Letztere Möglichkeit ist – obwohl auf ein Tidezeitfenster beschränkt – für die Schifffahrt hoch attraktiv, weil die Verkehrsdurchlässigkeit während dieses Tidefensters ungleich höher als die einer Schleuse ist. Wie im folgenden Kapitel weiter ausgeführt wird, verliert die Schwelle bei Wasserständen etwa über Tidemittelwasser ihre planerisch gewollte durchflusshemmende Wirkung, wodurch die Differenz zwischen den Wasserspiegeln oberhalb und unterhalb des Sperrwerkes klein wird. Dies ermöglicht, sofern die Schwelle beweglich konstruiert wird, eine Passage der Schiffe durch die Schwelle, ohne die Schleuse benutzen zu müssen.

Gemäß den Abschätzungen des WSA Emden über den zu erwartenden Schiffsverkehr soll die vorzusehende Schleuse so dimensioniert werden, dass sie entweder 4 GMS, 2 ÜGMS und 2 Europaschiffe oder das größtmögliche Seeschiff, dass die Seeschleusen in Leer oder Papenburg passieren kann, gleichzeitig aufnehmen kann. Daraus ergibt sich eine Nutzlänge der Kammer von 225 m und eine Breite von 27 m. Weiterhin ist es Planungsaufgabe zu untersuchen, ob eine optionale zweite Kammer mit den Abmessungen 225 x 12,5 m umsetzbar ist.

Die Drenpeltiefe der Schleuse muss ausreichend sein, um den Hauptanteil der Schifffahrt, nämlich die Binnenschiffe mit ihrem Tiefgang von bis zu 2,7 m bei allen Wasserständen – also auch bei Niedrigwasser – schleusen zu können. Würde man die max. Tiefgänge der Küstenschifffahrt von bis zu 5,9 m zugrunde legen und hierfür die Möglichkeit zur Schleusung bei Niedrigwasser fordern, ergäben sich deutlich höhere Anforderungen an die Schleusendrenpeltiefe. Wegen der geringen Verkehrsmengen dieser Schiffsgröße ist die Forderung nach Schleusung auch bei Niedrigwasser unverhältnismäßig. Geringe Einschränkungen, beispielsweise Schleusung erst ab einem Wasserstand von 1 m über Tnw können akzeptiert werden. Deswegen dürfen bei der Planung der Schleusendrenpeltiefe auch andere technische Restriktionen, wie beispielsweise die Drenpeltiefe des vorhandenen Sperrwerkes berücksichtigt werden.

### 2.3 Modelluntersuchung der Bundesanstalt für Wasserbau – Grundlage für die bautechnischen Lösungen

Die Bundesanstalt für Wasserbau (Dienststelle Hamburg) hat Modelluntersuchungen im numerischen Tidemodell der Ems durchgeführt, um die Wirkung einer Sohlschwelle für den Sedimenttransport in der Ems zu ermitteln. In diesem Kapitel wird der Frage nachgegangen, in welcher Form die im numerischen Modell eingebaute Schwelle Vorgabe für die technische Planung sein kann. Abbildung 2-3 illustriert die Art des Einbaus der Schwelle in das numerische Modell. Dort werden die nördliche Nebenöffnung (Nebenöffnung 1), die Hauptschifffahrtsöffnung und die Binnenschifffahrtsöffnung geschlossen, indem die Sohlhöhe einer Reihe von Berechnungselementen zwischen den Pfeilern über den höchsten möglichen Wasserstand angehoben wird.

Zur modelltechnischen Nachbildung der Schwelle, wird die Sohlhöhe einer Berechnungselementreihe in den Nebenöffnungen 2 bis 5 auf NN –1,50 m angehoben. Berücksichtigt man, dass das Tideniedrigwasser im Sperrwerksbereich bei etwa NN –2,0 m liegt, so wird deutlich, dass eine solche Sohlhöhenlage während der Niedrigwasserphase das Wasser in der Unterems zurückhält und die Schwelle somit vergleichbar zu einem Wehr überströmt wird.

Abbildung 2-4 zeigt anschaulich in dreidimensionaler Form, wie sich die Schwelle im numerischen Modell abbildet. Die vier südlichen Nebenöffnungen haben jeweils Öffnungsweiten von 63,5 m, woraus sich eine Durchflussbreite (oder – um den Ausdruck aus der Gerinnehydraulik zu gebrauchen „Überfallbreite“) der Sohlschwelle von 254 m ergibt. Mit anderen Worten ausgedrückt wird auf diese Art in das numerische Modell ein Wehrrücken mit einer Wehrhöhe von NN –1,50 m und einer Überfallbreite von 254 m eingebaut.

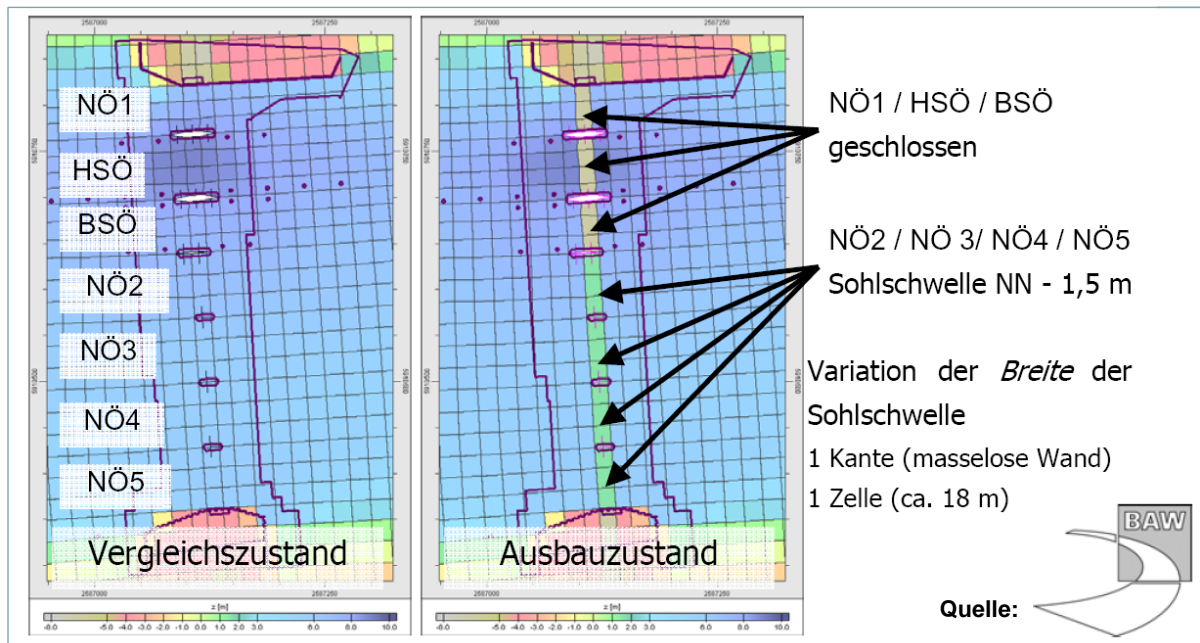


Abbildung 2-3: Auszug aus dem numerischen Modell der BAW, Darstellung der modelltechnischen Realisierung der Schwelle

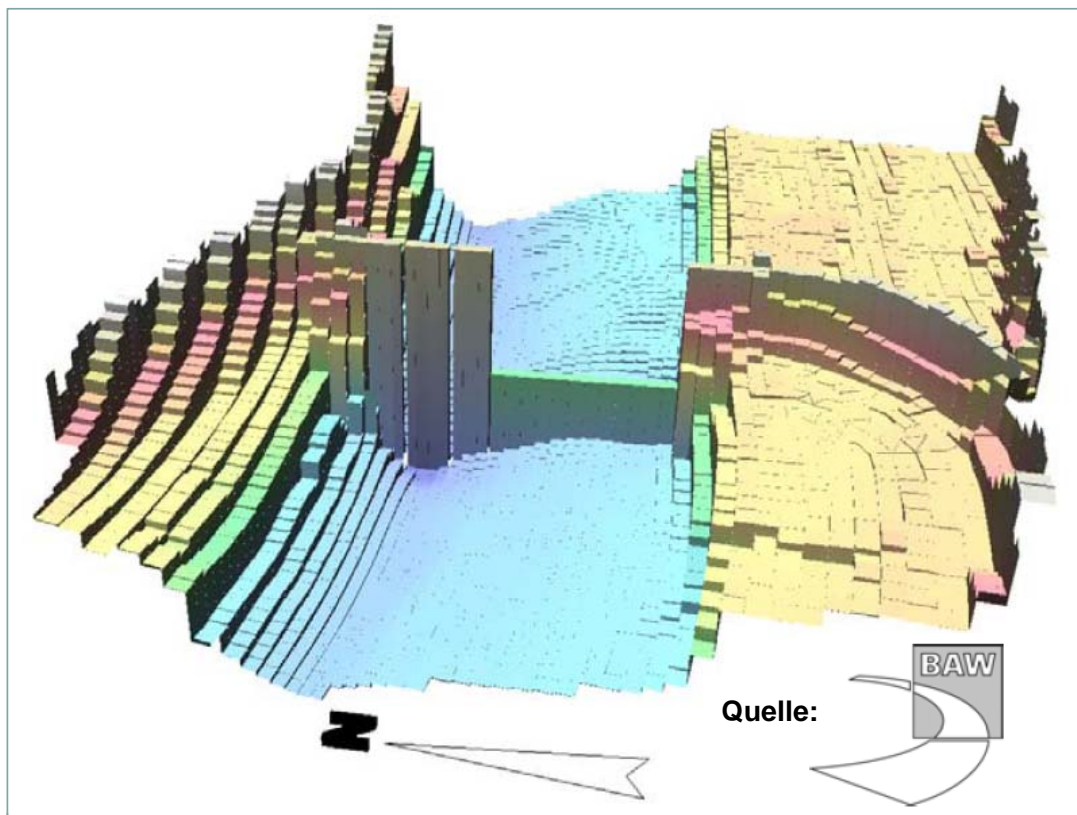


Abbildung 2-4: Auszug aus dem numerischen Modell der BAW, 3-D-Darstellung der modelltechnischen Realisierung der Schwelle

Die in das numerische Modell eingebaute Schwelle wirkt bei Wasserständen nahe Niedrigwasser wie ein überströmtes Wehr. Das numerische Modell (Bundesanstalt für Wasserbau, AZ: A3955010143) ermittelt der Wehrüberströmung entsprechend oberstrom der Schwelle einen Rückstau und einen zugehörigen Abfluss über das Wehr. Diese beiden Werte können mit der Wasserstands-abflussbeziehung des Wehrüberfalls aus der Gerinnehydraulik verglichen werden.

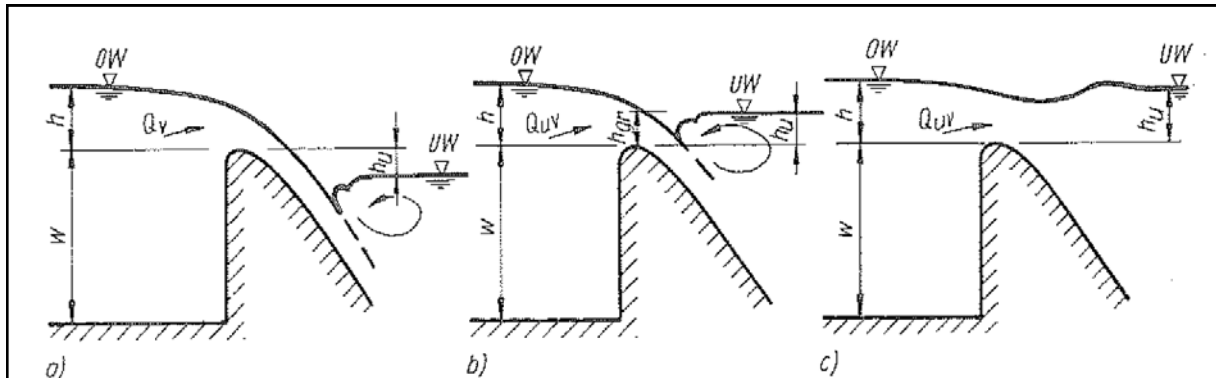


Abbildung 2-5: Vergleich vollkommener (a) und unvollkommener (b) Wehrüberfall sowie nahezu unbeeinflusste Überströmung (c) (BOLLRICH & PREIBLER 1992)

Abbildung 2-5 zeigt schematisch den Abfluss über einen Wehrrücken und unterscheidet zwischen dem vollkommenen (a) und dem unvollkommenen Überfall (b). Im Tidezyklus der Ems ergeben sich über diese beiden Zuständen hinaus vom Wehr vollkommen unbeeinflusste Strömungssituationen (c), weil die Tidewasserstände deutlich über der Höhe des Wehrrückens liegen.

Im Einzelnen kann die Abfolge wie folgt beschrieben werden: Nach dem Eintritt des Tidehochwassers fließt zunächst die einsetzende Ebbe unbeeinflusst von der Schwelle ab, weil der Wasserstand über der Schwelle zu hoch liegt. Bei sinkenden Wasserständen stellt sich dann ein erster Aufstauereffekt ein, der sich zunächst als stehende Welle über der Schwelle (respektive über dem Wehrrücken) bemerkbar macht (Abbildung 2-5, Teil c). Bei weiter sinkenden Wasserständen kommt es zu dem im Teil b der Abbildung 2-5 skizzierten unvollkommenen Überfall, der dann mit dem Absinken des Tideniedrigwassers unterstrom des Sperrwerkes in einen vollkommenen Überfall (Teil a der Abbildung) übergeht. Im Zustand des vollkommenen Überfalls ist der Abfluss über das Wehr vollkommen unabhängig vom Unterwasserstand und wird alleine bestimmt durch den Oberwasserstand.

Nach Tideniedrigwasser unterstrom der Schwelle steigt der Wasserstand unterhalb der Schwelle an, ohne zunächst den Oberwasserstand zu beeinflussen, weswegen hier weiter Wasser abfließt und der Wasserstand sinkt. Weiter ansteigender Wasserstand führt dann zu einem unvollkommenen Überfall. Spätestens mit Angleichung der Wasserstände kehrt sich die Fließrichtung über der Schwelle um und das Wasser strömt nach oberstrom. Über der Schwelle kommt



es danach noch eine Zeit lang zu einem unvollkommenen Abfluss in Richtung oberstrom bis aufgrund der steigenden Wasserstände der Einfluss der Schwelle so gering wird, dass die Differenz der Wasserspiegel oberhalb und unterhalb der Schwelle klein wird. Wie oben erwähnt erlauben geringere Wasserspiegeldifferenzen als ca. 0,2 m dann die Öffnung der Schwelle mittels beweglichem Verschluss und ermöglichen den Schiffsverkehr durch die Schwelle unter Umgehung der Schleuse.

Der Abfluss über ein Wehr ist gekennzeichnet durch einen Fließwechsel vom strömenden zum schießenden und dann wieder zum strömenden Abfluss. Diese Fließwechsel verursachen eine Energieumwandlung und damit Energieverluste, die in ihrer Größe nicht exakt im numerischen Modell berücksichtigt werden können. Deswegen ist die dort berechnete Beziehung zwischen

- der Überfallhöhe über dem Wehr (bzw. der Sohlschwelle),
- der Überfallbreite des Wehres und
- dem Abfluss über das Wehr

ungenau! Durch die zu geringe Ermittlung der Energieverluste werden im numerischen Modell die Abflüsse über das Wehr überschätzt bzw. die Oberwasserhöhen unterschätzt. Diese Abweichungen sind bei vollkommenem Überfall am größten und werden geringer, je unvollkommener der Überfall wird bzw. je geringer bei höheren Tidewasserständen der Einfluss der Sohlschwelle auf das Abflussgeschehen wird.

Diese Abweichung zwischen der Berechnung des numerischen Modells und den realen Verhältnissen ist in Bezug auf die Prognose des numerischen Modells für die Veränderung des Sedimenttransportes unerheblich. Die vom numerischen Modell prognostizierte Reduktion des Sedimenttransportes resultiert aus dem im Modell berechneten Aufstau der Unterems bei Tideniedrigwasser und der damit verbundenen Reduktion des Tidevolumens. Die lokalen Strömungsverhältnisse an bzw. über der Schwelle sind hierfür ohne Bedeutung.

Die Dimensionierung der real zu bauenden Schwelle muss aber so gewählt werden, dass ein Oberwasserstand und ein Abfluss wie in der numerischen Modelluntersuchung bewirkt wird!

Im Rahmen dieser Studie ist für diese Dimensionierung der „realen Schwelle“ eine Berechnung mit Wehr-Abflussbeziehungen gemäß einer anerkannter Beziehung aus der Gerinnehydraulik ausreichend (siehe Kapitel 6.1).

Um die Dimensionierung der Schwelle genauer zu überprüfen, kann es bei weiterer Konkretisierung der Planung sinnvoll sein, physikalische Modellversuche oder auf Fließwechsel spezialisierte numerische Berechnungen durchzuführen.

## 2.4 Wasserstände und Lastannahmen

Für die Planung des Sperrwerkes wurden die in der Tabelle 2-1 dargestellten Wasserstände zugrunde gelegt. Diese wurden für die Bemessung der Tore und Pfeiler herangezogen. Maßgeblich für den Lastfall „Sturmflutkehrung“ sind der Bemessungswasserstand und der Schließwasserstand. Für die Schiffsüberführung wurden der Stauwasserstand und der minimal zulässige Unterwasserstand während der Stauzeit herangezogen. Wird die Schwelle im vorhandenen Sperrwerksquerschnitt angeordnet, so sind ggf. einige dieser Wasserstände bei der Dimensionierung der Bauteile zu berücksichtigen. Weil dies von der konkreten technischen Lösung abhängig ist, wird bei der Beschreibung derselben im Einzelnen darauf eingegangen.

Tabelle 2-1: Auslegungswasserstände des Emssperrwerks

Bemessungswasserstand:	NN +6,40 m	
Schließwasserstand:	NN +3,50 m	
Stauziel für Schiffsüberführung:	NN +2,70 m	
Minimaler Unterwasserstand während der Stauzeit:	NN -2,00 m	
Oberkante Verschlusskörper:	NN +7,00 m	Wellenüberlauf über Verschlusskörper ist zugelassen, da ausreichend Stauraum oberhalb des Sperrwerks vorhanden ist
Höhen der Anschlussdeiche:	NN +8,00 m	Landesschutzdeich mit Außenböschung 1 : 5
Pfeiler- und Bauwerksoberkanten:	NN +8,00 m	in Anlehnung an Höhe der Anschlussdeiche

Mit dem Bau der Schwelle sind neue Belastungssituationen verbunden, die sich aus der Staufunktion der Schwelle ergeben. Anhand der Wasserstandszeitreihe, die durch das numerische Modell der Bundesanstalt für Wasserbau ermittelt wurde (siehe Abbildung 2-6), kann die Wirkung der Schwelle auf die Wasserstände oberstrom und unterstrom der Schwelle nachvollzogen werden.

Mit dem ablaufenden Wasser bewirkt die Aufstaufunktion der Schwelle eine sich herausbildende Wasserspiegeldifferenz, die zum Zeitpunkt des Tideniedrigwassers im Unterwasser ein Maximum annimmt. Sie erreicht etwa 1,7 m. Die entstehende Wasserspiegeldifferenz bei auflaufendem Wasser ist deutlich geringer und liegt etwa bei 30 cm.

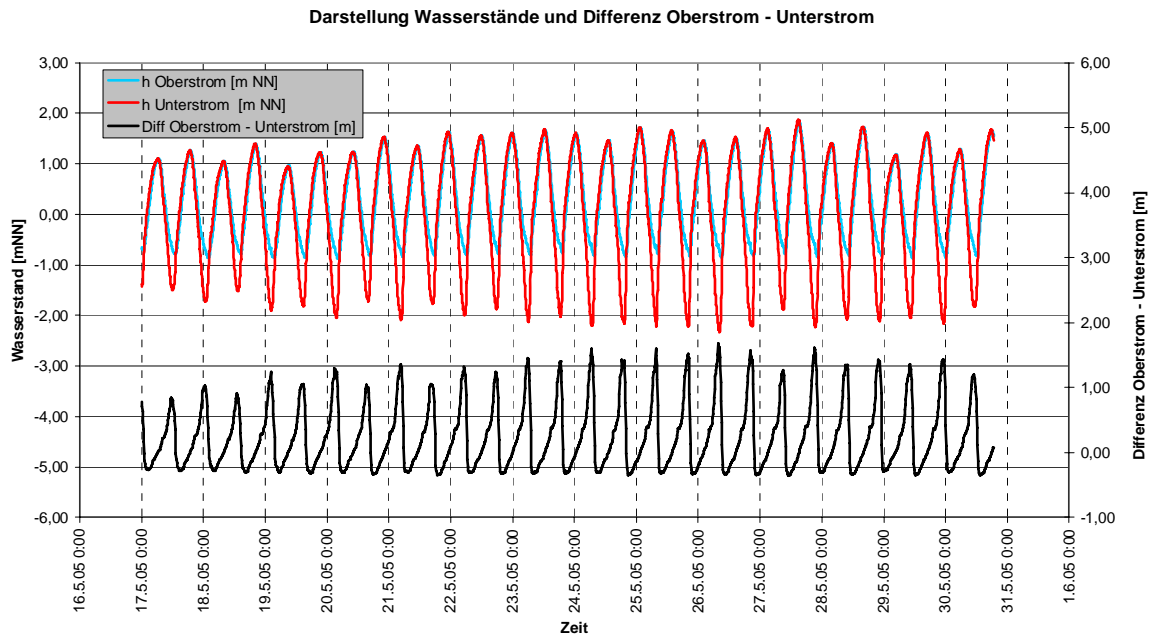


Abbildung 2-6: Wasserstandszeitreihe eines Spring-Nipp-Zyklus gemäß numerischer Modeluntersuchung Bundesanstalt für Wasserbau

Für das Verständnis der Schwellenwirkung ist der Vergleich der Eintrittzeiten der Tideniedrigwasserstände oberstrom und unterstrom der Schwelle aufschlussreich.

Tabelle 2-2 zeigt diesen Vergleich. Vergleicht man die Eintrittszeitpunkte so wird deutlich, dass das Tideniedrigwasser oberstrom etwa eine Stunde später als das Tideniedrigwasser unterstrom eintritt. Der Prozess kann etwa wie folgt beschrieben werden:

Nach Eintritt des Tideniedrigwassers unterstrom verharrt dort der Wasserspiegel und steigt wieder an. Währenddessen läuft oberstrom weiter über die Schwelle Wasser ab, wodurch dort der Wasserstand weiter absinkt. Unterstrom bewirkt nunmehr die Flut ansteigende Wasserstände, bis Gleichstand zum Wasserstand oberstrom eintritt. Die Richtung der Strömung kehrt sich um. Die Flut setzt nunmehr auch oberstrom der Schwelle ein. In diesem Zyklus stellt sich die maximale Wasserstands Differenz zum Eintrittszeitpunkt des Tideniedrigwassers unterstrom ein.

Tabelle 2-2: Eintrittszeiten und Wasserstände des Tideniedrigwassers ober- und unterstrom der Schwelle

Oberstrom		Unterstrom	
[Zeit]	[m NN]	[Zeit]	[m NN]
16.05.2005 00:00	-0,85	15.05.2005 22:51	-1,84
16.05.2005 12:01	-0,75	16.05.2005 10:50	-1,49
17.05.2005 00:57	-0,71	16.05.2005 23:43	-1,44
17.05.2005 13:15	-0,79	17.05.2005 12:02	-1,51
18.05.2005 01:40	-0,85	18.05.2005 00:42	-1,73
18.05.2005 14:34	-0,78	18.05.2005 13:28	-1,53
19.05.2005 03:39	-0,86	19.05.2005 02:13	-1,91
19.05.2005 15:22	-0,86	19.05.2005 14:46	-1,83
20.05.2005 04:27	-0,88	20.05.2005 03:40	-2,05
20.05.2005 16:37	-0,83	20.05.2005 16:00	-1,72
21.05.2005 05:31	-0,85	21.05.2005 04:42	-2,10
21.05.2005 17:42	-0,83	21.05.2005 17:01	-1,77
22.05.2005 06:21	-0,81	22.05.2005 05:25	-2,01
22.05.2005 18:29	-0,79	22.05.2005 17:42	-1,87
23.05.2005 06:55	-0,80	23.05.2005 05:55	-2,14
23.05.2005 19:21	-0,77	23.05.2005 18:36	-2,03
24.05.2005 07:40	-0,82	24.05.2005 06:38	-2,23
24.05.2005 19:52	-0,86	24.05.2005 19:10	-2,18
25.05.2005 08:28	-0,78	25.05.2005 07:40	-2,22
25.05.2005 20:50	-0,84	25.05.2005 20:14	-2,23
26.05.2005 08:56	-0,88	26.05.2005 08:25	-2,33
26.05.2005 21:31	-0,83	26.05.2005 20:46	-2,23
27.05.2005 09:47	-0,79	27.05.2005 08:58	-1,90
27.05.2005 22:19	-0,84	27.05.2005 21:23	-2,24
28.05.2005 10:23	-0,83	28.05.2005 09:49	-2,09
28.05.2005 23:12	-0,82	28.05.2005 22:27	-2,15
29.05.2005 11:11	-0,88	29.05.2005 10:15	-2,06
30.05.2005 00:04	-0,85	29.05.2005 23:27	-2,17
30.05.2005 12:17	-0,83	30.05.2005 11:01	-1,84

Anhand der Zeitreihe des Spring-Nippzyklus des numerischen Modell z werden die maximalen Wasserspiegeldifferenzen für jede Tidephase bei ablaufendem Ebbestrom ermittelt. Dies ist in Tabelle 2-3 dargestellt. Vergleicht man die Eintrittszeitpunkte mit denen des Tideniedrigwasser unterstrom (Tabelle 2-2), so erkennt man, dass tatsächlich die maximale Wasserspiegeldifferenz zeitlich nahe Tideniedrigwasser unterstrom eintritt.

Die Wasserspiegeldifferenzen erreichen Werte von bis zu 1,7 m. Dabei liegt der Oberwasserstand etwa bei NN -0,60 bis NN -0,70 m. Die Unterwasserstände liegen zwischen NN -2 m und NN -2,30 m.

Tabelle 2-3: Eintrittszeitpunkt, Wasserstand, Abfluss und maximale Wasserspiegeldifferenz bei Ebbestrom an der Schwelle

Maximalwerte aus Differenz Oberstrom - Unterstrom				
Datum/Zeit	Differenz [m]	Abfluss [m <sup>3</sup> /h]	Oberstrom [mNN]	Unterstrom [mNN]
17.5.05 11:20	0,85	947	-0,55	-1,40
18.5.05 0:40	1,02	769	-0,70	-1,73
18.5.05 13:00	0,91	836	-0,58	-1,48
19.5.05 2:10	1,24	621	-0,67	-1,91
19.5.05 14:50	1,05	556	-0,77	-1,82
20.5.05 2:50	1,30	764	-0,63	-1,93
20.5.05 15:20	1,04	1009	-0,59	-1,63
21.5.05 4:30	1,36	655	-0,70	-2,07
21.5.05 16:10	1,06	1031	-0,56	-1,61
22.5.05 5:10	1,33	866	-0,67	-2,00
22.5.05 17:20	1,25	744	-0,55	-1,79
23.5.05 5:50	1,45	834	-0,64	-2,09
23.5.05 18:40	1,40	617	-0,62	-2,02
24.5.05 6:30	1,60	618	-0,59	-2,18
24.5.05 18:30	1,43	1017	-0,60	-2,03
25.5.05 7:40	1,60	558	-0,62	-2,22
25.5.05 20:00	1,52	688	-0,70	-2,22
26.5.05 7:50	1,68	606	-0,60	-2,28
26.5.05 20:10	1,58	615	-0,57	-2,15
27.5.05 9:00	1,27	622	-0,62	-1,90
27.5.05 21:10	1,61	615	-0,58	-2,19
28.5.05 9:50	1,35	606	-0,73	-2,08
28.5.05 21:50	1,43	831	-0,60	-2,03
29.5.05 10:10	1,36	769	-0,68	-2,04
29.5.05 23:20	1,42	547	-0,74	-2,16
30.5.05 11:00	1,20	869	-0,62	-1,82

Die dieser Auswertung zugrundeliegende Zeitreihe eines Spring-Nipp-Zyklus wurde mit einem konstanten niedrigen Oberwasser von 25 m<sup>3</sup>/s durchgeführt. Simulationsberechnungen mit hohem Oberwasser liegen nicht vor. Es ist zu erwarten, dass bei hohem Oberwasser die Wasserstände oberhalb der Schwelle höher sein werden, weil sich die Abflüsse über die Schwelle erhöhen.

Bei Tideniedrigwasser liegt der Abfluss über der Schwelle gemäß der numerischen Untersuchung mit einem Oberwasser von 25 m<sup>3</sup>/s bei rund 1.000 m<sup>3</sup>/s (siehe Tabelle 2-3). Diese Abflussmenge stammt also weit überwiegend aus dem Tidevolumen. In der Ems treten bei Binnenhochwasser Oberwasserabflüsse in der Größenordnung bis 1.000 m<sup>3</sup>/s auf, so dass bei einer solchen hydrologischen Situation der Abfluss über die Schwelle bei Tideniedrigwasser in der Größenordnung von 2.000 m<sup>3</sup>/s liegen müsste. Eine deutliche Erhöhung der Wasserstände über der Schwelle ist daraus zu erwarten. Weil für die Durchführung der Studie keine Berechnung vorliegt, wird bei den Wasserständen für hohes Oberwasser ein geschätzter Zuschlag vorgenommen.

Im Rahmen der Studierarbeitung ist bei häufig auftretenden Verhältnissen von folgenden Wasserständen auszugehen

- Wasserstand oberhalb der Schwelle (siehe Tabelle 2-3) NN -0,60 m
  - \* Zuschlag für hohes Oberwasser 0,30 m
  - \* Wasserstand oberhalb für Bemessung NN -0,30 m
- Wasserstand unterhalb der Schwelle (siehe Tabelle 2-3) NN -2,28 m
  - \* Gerundeter Wert für die Bemessung NN -2,30 m

Für die selten auftretenden extrem niedrigen Wasserstände, z. B. bei Ostwindwetterlagen (siehe Tabelle 2-1), wird für die Vorbemessung davon ausgegangen, dass das Tideniedrigwasser unterstrom der Schwelle im Vergleich zur Situation ohne Schwelle um etwa 20 cm tiefer eintritt.

Die im Rahmen dieser Studie verwandten Bemessungswasserstände für den Lastfall Wasserstand oberhalb größer als Wasserstand unterhalb der Schwelle sind in Tabelle 2-4 zusammengefasst.

Tabelle 2-4: Bemessungsrelevante Wasserstände für die Schwelle bei Kehrung gegen höheren Wasserstand oberstrom der Schwelle, ablaufend Wasser

Szenario	Einstufung	OW [m NN]	UW [m NN]	$\Delta w$ [m]
Häufige hydrologische Verhältnisse	Lastfall 1	-0,30	-2,30	2,00
Seltene hydrologische Verhältnisse	Lastfall 3	-0,80	-3,80	3,00

Bei Flutstrom ergibt sich eine nach oberstrom gerichtete Belastung. Die Maximalwerte der Wasserstandsdifferenzen sind in Tabelle 2-5 dargestellt. Danach erreichen die Wasserspiegeldifferenzen Werte bis zu 35 cm, wobei die zugehörigen Ober- und Unterstromwasserspiegel ausgeprägt schwanken.

Für die Berechnung wird deswegen eine nach oberstrom gerichtete Wasserspiegeldifferenz  $\Delta h = 0,5$  m unterstellt. Auf eine genauere Festlegung der Höhenlage der Wasserstände kann bei dieser Situation aufgrund der geringen Druckdifferenz im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie verzichtet werden.

Tabelle 2-5: Eintrittszeitpunkt, Wasserstand, Abfluss und maximale Wasserspiegeldifferenz bei Flutstrom an der Schwelle

Minimalwerte aus Differenz Oberstrom - Unterstrom				
Datum/Zeit	Differenz [m]	Abfluss [m³/h]	Oberstrom [mNN]	Unterstrom [mNN]
17.5.05 2:40	-0,27	1684	0,03	0,30
17.5.05 15:20	-0,29	1837	0,08	0,37
18.5.05 4:20	-0,29	1713	-0,03	0,26
18.5.05 16:30	-0,30	1899	0,08	0,38
19.5.05 5:30	-0,31	1711	-0,11	0,20
19.5.05 17:40	-0,32	1892	-0,01	0,31
20.5.05 6:10	-0,31	1690	-0,14	0,17
20.5.05 18:00	-0,33	1807	-0,17	0,16
21.5.05 7:20	-0,30	1858	0,04	0,34
21.5.05 18:50	-0,35	1770	-0,22	0,13
22.5.05 7:20	-0,31	1708	-0,21	0,11
22.5.05 19:40	-0,33	1812	-0,13	0,20
23.5.05 7:50	-0,33	1592	-0,28	0,04
23.5.05 20:20	-0,32	1763	-0,15	0,17
24.5.05 9:30	-0,31	1980	0,12	0,44
24.5.05 21:00	-0,35	1875	-0,18	0,16
25.5.05 9:20	-0,32	1679	-0,21	0,11
25.5.05 21:50	-0,33	1686	-0,24	0,09
26.5.05 11:00	-0,33	2055	0,12	0,45
26.5.05 22:30	-0,34	1714	-0,26	0,08
27.5.05 11:00	-0,35	2035	-0,04	0,31
27.5.05 23:40	-0,31	1732	-0,18	0,13
28.5.05 11:40	-0,33	1842	-0,16	0,17
29.5.05 0:10	-0,30	1563	-0,26	0,04
29.5.05 12:20	-0,35	1683	-0,29	0,06
30.5.05 1:20	-0,31	1603	-0,25	0,05
30.5.05 13:30	-0,34	1801	-0,20	0,14

Für die Bemessung Wasserstand unterhalb größer als Wasserstand oberhalb der Schwelle (auflaufend Wasser) werden im Rahmen dieser Studie die Werte gemäß Tabelle 2-4 für die Vorbemessung herangezogen. Eine Lastfalldifferenzierung zwischen häufigen und seltenen hydrologischen Verhältnissen erübrigt sich hier, weil für die auflaufende Flut keine signifikante Änderung der Wasserspiegeldifferenzen bei den verschiedenen hydrologischen Szenarien zu erwarten ist.

Tabelle 2-6: Bemessungsrelevante Wasserstände für die Schwelle bei Kehrung gegen höheren Wasserstand unterstrom der Schwelle, auflaufend Wasser

Szenario	Einstufung	OW [m NN]	UW [m NN]	$\Delta w$ [m]
Alle hydrologische Verhältnisse	Lastfall 1	-0,20	+0,30	0,50
<p><i>Die beiden Wasserstandsangaben für OW und UW sind als mittlere Höhenlagen zu verstehen. Tatsächlich schwanken die Werte im Oberwasser zwischen NN -0,0 und -0,30 m sowie im Unterwasser zwischen NN +0,05 und +0,45 m. Die Wasserspiegeldifferenz von 0,5 m wird aber keinesfalls überschritten.</i></p>				

Detailliertere Angaben zur Ableitung dieser Wasserstände enthält der IMS-Bericht 90122-02 „Einengung des Querschnitts der Ems im Bereich des Emssperrwerks – Bemessungsgrundlagen“.



### **3 Von der bautechnischen Lösungsidee zu den zu untersuchenden Varianten**

Die planerische Aufgabe besteht in der Entwicklung eines Bauwerkes, welches aus einer Schwelle und einer Schleuse besteht. Mögliche Lösungsideen können sich wie folgt unterscheiden:

- Verschiedene Orte der Schwelle, z. B. Lage im Querschnitt des Sperrwerkes oder Lage oberhalb des Sperrwerkes oder Lage unterhalb des Sperrwerkes.
- Unterschiedliche bautechnische Konstruktion der Schwelle selbst, beispielsweise Konstruktion als feste oder bewegliche Schwelle.
- Unterschiedliche Anordnung der Schleuse innerhalb einer gewählten Lage der Schwelle und unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten der bautechnischen Realisierung der Schleuse, insbesondere der Schleusentore.
- Unterschiedliche Konstruktion einzelner Bauteile, aus denen die Bauwerke bestehen, z. B. die Anwendung der Massivbauweise oder der Spundwandbauweise.

Um in das Thema einzuführen, werden zunächst Lösungsideen skizziert. Aus Gründen der Übersichtlichkeit und der Arbeitsökonomie ist es nicht sinnvoll, alle Lösungsideen in die Untersuchung einzubeziehen. Statt dessen werden Ausschlusskriterien und Mindestbedingungen entwickelt, anhand derer eine sinnvolle Selektion der Lösungsideen möglich ist. Aus dieser Auswahl werden dann die zu untersuchenden Varianten abgeleitet.

#### **3.1 Lösungsideen**

##### **3.1.1 Lage des Schwellenbauwerkes**

Eine gedanklich naheliegende Lösung ist es, die Schwelle im unmittelbaren Bereich der Verschlüsse des Emssperrwerkes anzuordnen (siehe Abbildung 3-1). Für die Anordnung der Schleuse gibt es mehrere Möglichkeiten, auf der Abbildung ist eine Schleuse oberstrom der vorhandenen nördlichen Nebenöffnung des Sperrwerkes eingetragen.

Denkbare Alternativen dazu sind die Lage des Schwellenbauwerkes oberhalb oder unterhalb des Sperrwerkes. Dadurch werden Schwelle und Sperrwerk entkoppelt. Allerdings muss die Entfernung voneinander so gewählt werden, dass eine Passage für die Schifffahrt durch die dann aufeinanderfolgenden Bauwerke möglich wird.

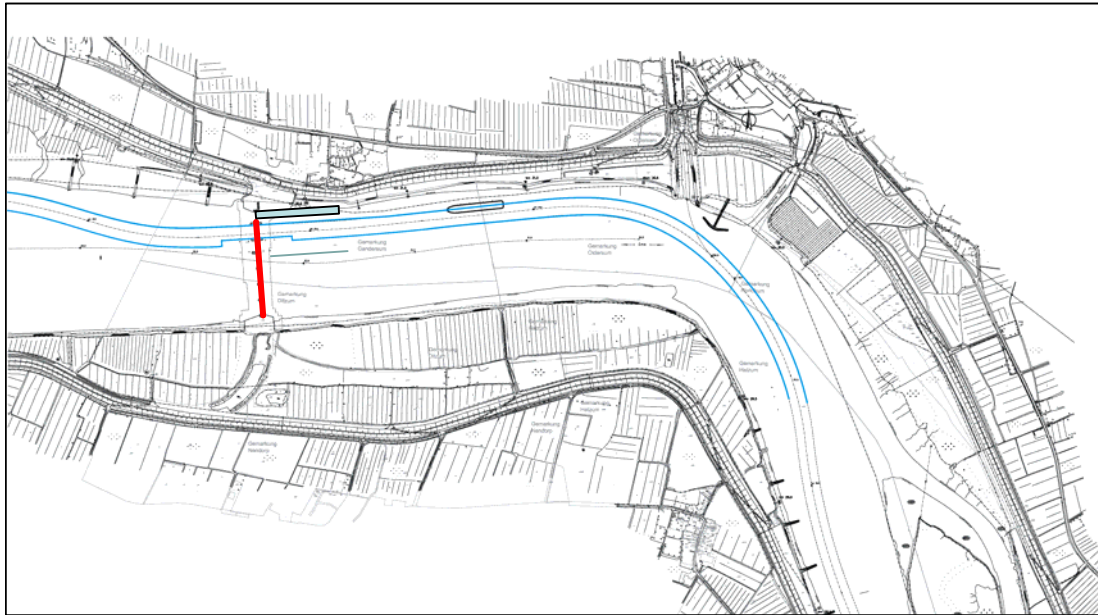


Abbildung 3-1: Lageplan Ems bei Gandersum, Lage der Schwelle und Schleuse im Querschnitt des Emssperrwerkes

Abbildung 3-2 zeigt beispielhaft eine Lage des Schwellenbauwerkes oberhalb des Sperrwerkes. Die Schleuse ist auf dieser Abbildung in der heute bestehenden Fahrrinne angeordnet. Um aus nautischer Sicht möglichst günstige Verhältnisse zu schaffen ist der Abstand so gewählt, dass die Schwelle etwa in der Mitte zwischen dem Sperrwerk und der Emskurve bei Oldersum liegt.

Abbildung 3-3 zeigt zum Vergleich eine mögliche Lage der Schwelle unterhalb des Sperrwerkes, auch hier ist Schleuse in der bestehenden Fahrrinne angeordnet. Der Abstand zwischen Schwelle und Sperrwerk ist noch relativ gering, was die Passage für die Schifffahrt erschweren dürfte. Andererseits ist auf der Abbildung auch erkennbar, dass die Breite der Ems in Richtung unterstrom (Emden) deutlich zunimmt, was den baulichen Aufwand für die Schwelle erhöht.

Für alle Lösungsideen, bei denen die Lage der Schwelle außerhalb des Sperrwerkes vorgesehen ist, ist eine Überprüfung notwendig, ob sie die erforderliche Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs gewährleisten können. Ebenfalls muss geprüft werden, ob eine Schwelle außerhalb des Sperrwerksquerschnittes nicht zu einer Verschlickung im Querschnitt des Sperrwerkes führen würde, da zu erwarten ist, dass die Schwelle im Nahbereich Strömungsschatten erzeugt.

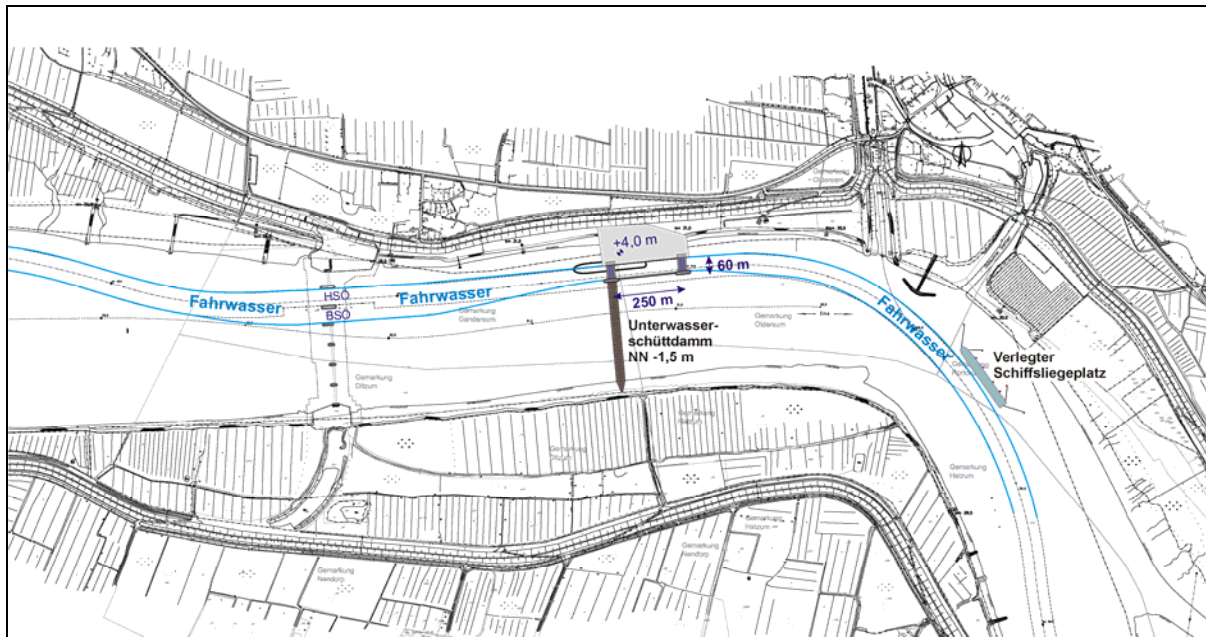


Abbildung 3-2: Lösungsidee für die Lage der Schleuse oberhalb des Sperrwerksquerschnitts

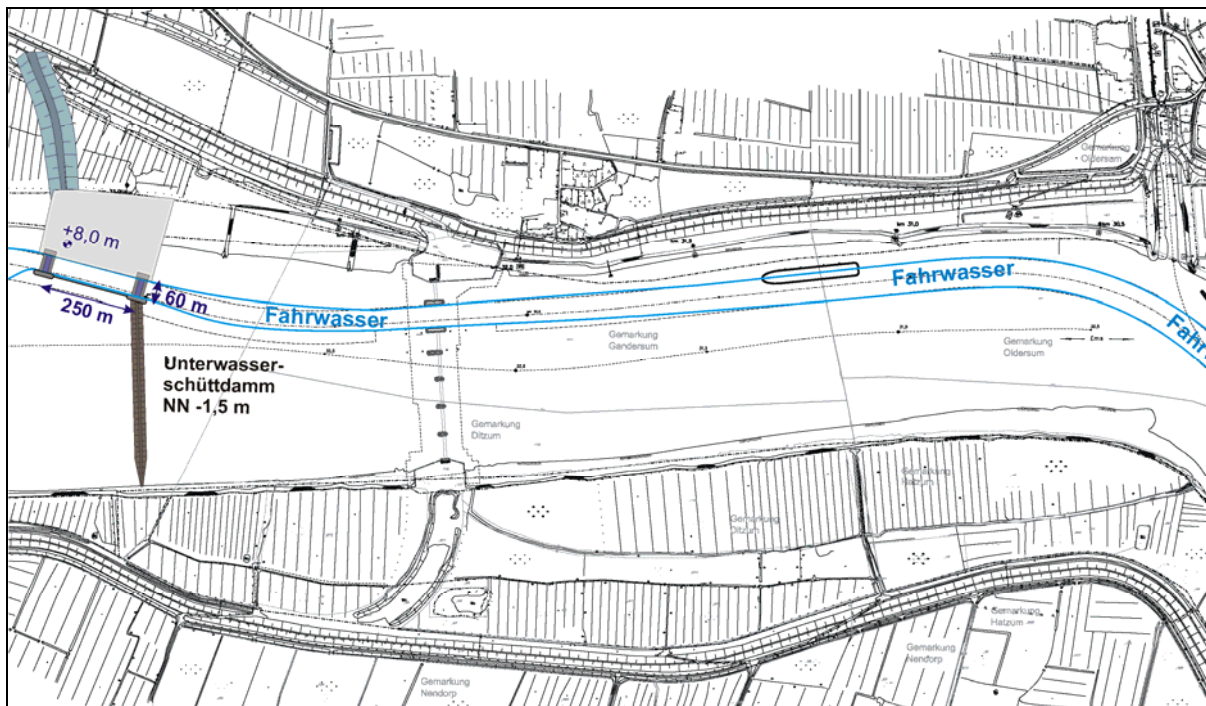


Abbildung 3-3: Lösungsidee für die Lage der Schwelle unterhalb des Sperrwerks

### 3.1.2 Art der Verschlusskörper zur Ausbildung der Schwelle

Wie in Kapitel 2 bereits angedeutet, gibt es grundsätzlich die beiden Möglichkeiten, die Schwelle als festes Bauwerk auszubilden oder als beweglichen Verschluss vorzusehen.

Ausgangspunkt aller Konstruktionsüberlegungen sind die Modelluntersuchungen der BAW mit einer festen Schwelle. Ersetzt man aber diese feste Schwelle zumindest in einem Teil der Durchflussöffnungen durch bewegliche Verschlussorgane, so können folgende Eigenschaften realisiert werden:

- Das Sperrwerk wird wie bisher zu bestimmten Tidephasen für die Schifffahrt passierbar, beispielsweise von Tidemittelwasser über Hochwasser bis Tidemittelwasser.
- Das Hochwasser könnte dann höher auflaufen, weil die Durchflussminderung während höherer Wasserstände reduziert wird. Wie stark dieser Effekt sein könnte, müsste durch Modelluntersuchungen der BAW geklärt werden.
- Eine bewegliche Schwelle ist mindestens in der Hauptschifffahrtsöffnung notwendig, um eine Dockschleusung der Werftschiffe zu ermöglichen.
- Würden in allen Durchlässen des Sperrwerkes bewegliche Verschlüsse vorgesehen, wäre es auch möglich, die exakte Schwellenhöhe im späteren Betrieb zu optimieren.

#### 3.1.2.1 Konstruktionen für feste Schwellen

Zur Ausbildung der festen Schwelle können folgende Ideen skizziert werden: Sie könnte theoretisch als symmetrisches Wehr in Massivbauweise aus Beton ausgebildet werden, dessen Profil die Ablösung des Überlaufstrahls verhindert, wodurch Schwingungserscheinungen vermieden werden. Eine solche aufwendige Konstruktion ist aber nicht notwendig, weil bei diesem Bauwerk die Energieverluste nicht minimiert werden müssen. Das Gegenteil ist ja beabsichtigt. Die Schwelle kann also auch als einfaches breitkroniges symmetrisches Wehr mit flachen Randneigungen gestaltet werden. Als Baumaterial bietet sich beispielsweise ein Steinschüttdamm an, dessen Oberfläche durch Verguss gesichert wird. Zu prüfen ist, ob eine besondere Dichtung erforderlich ist oder ob die Durchsickerung klein genug bleibt, um die gewünschte Funktionalität in Bezug auf eine Niedrigwasserstützung oberhalb des Sperrwerkes zu gewährleisten.

Wird ein Teil der Schwelle durch eine Spundwand realisiert, ist insbesondere auf eine ausreichende Belüftung des Überfallstrahls zu achten, um Schwingungserscheinungen zu vermeiden. Der Überfallstrahl induziert Turbulenz, die den Kolkschutz insbesondere dort belastet, wo aufgrund geringer Wassertiefen nur ein kleines Wasserpolster vorhanden ist. Für den Bau der Spundwand muss

der vorhandene Kolkschutz grabenförmig abgetragen werden und nach Einrammung der Spundwand wieder hergestellt werden.

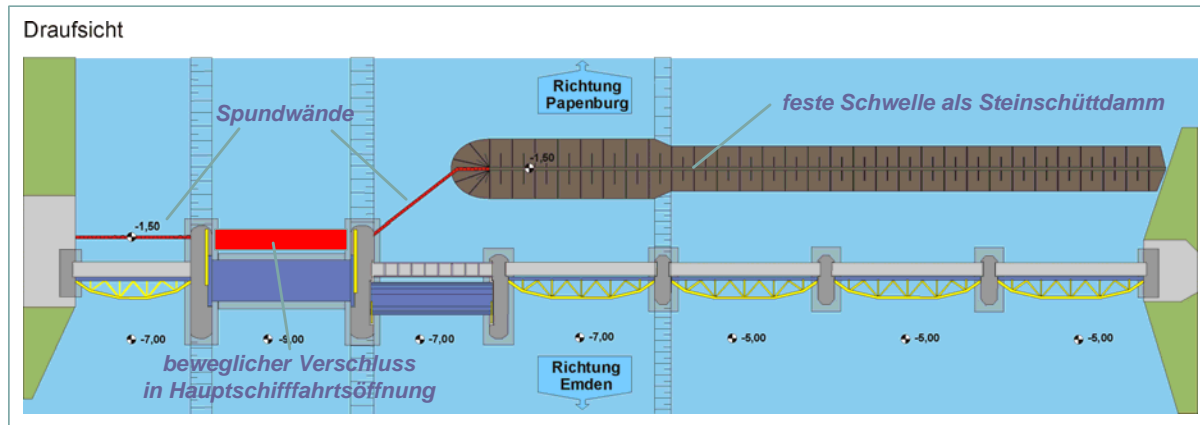


Abbildung 3-4: Grundriss des Sperrwerks mit Anordnung einer festen Schwellenlinie und beweglichem Verschluss in der Hauptschiffahrtsöffnung

Abbildung 3-4 zeigt im Grundriss die beschriebene Lösung aus fester Schwelle und beweglichem Verschluss in der Hauptschiffahrtsöffnung. Auf die Anordnung einer Schleuse wird in dieser Skizze verzichtet.

An Stelle eines Steinschüttdamms außerhalb der Sperrwerksachse kann die feste Schwelle durch Betonkörper in den Öffnungen (außer der in der Hauptschiffahrtsöffnung) gebildet werden (siehe Abbildung 3-5).

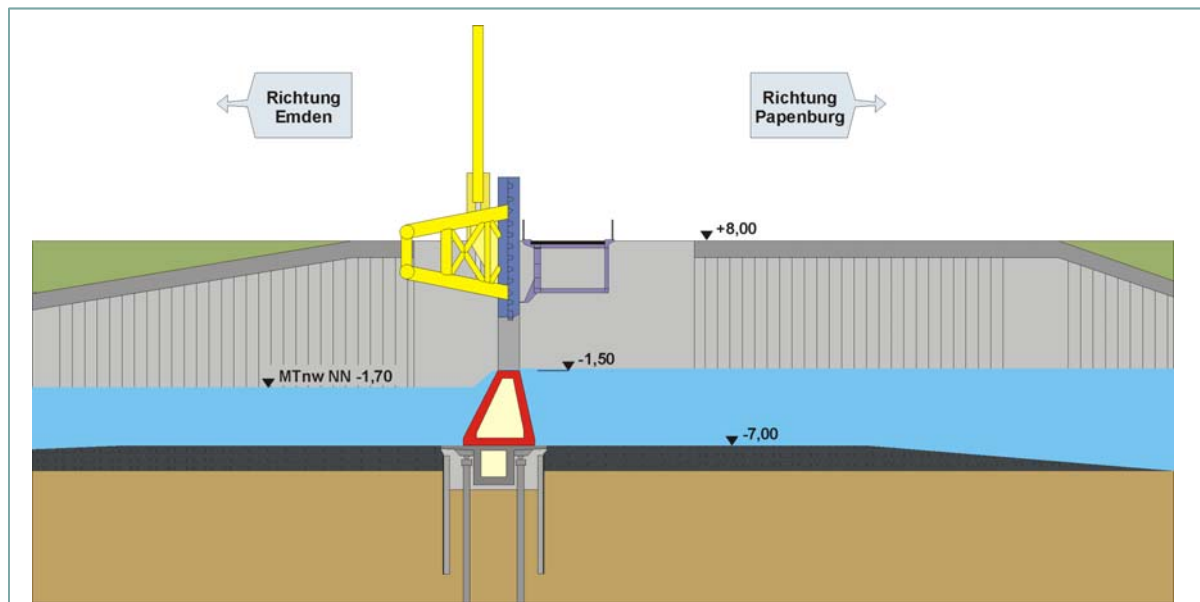


Abbildung 3-5: Querschnitt durch Nebenöffnung mit Hubtor, Anordnung eines Betonkörpers zur Ausbildung der Schwelle

Der Betonkörper ist hier nur symbolisch angeordnet. Eine strömungsgünstige Formgebung wäre erforderlich, wobei zu prüfen ist, ob der vorhandene Dremmel die zusätzliche Belastung aus Eigengewicht des Betonkörpers und Wasserdruck auf den Betonkörper tragen würde.

### 3.1.2.2 Konstruktionen für bewegliche Schwellen

Als bewegliche Schwelle bieten sich Verschlussysteme an, wie sie in beweglichen Wehren Einsatz finden. Dazu gehören alle Arten von überströmbaren Verschlussorganen wie Drehsegmente oder Klappen, beispielsweise die in Abbildung 3-6 dargestellte Wehrklappe, die in dieser Art vor dem Kreisdrehsegment der Hauptschiffahrtsöffnung angeordnet werden könnte. Theoretisch sind auch aufwendigere bewegliche Wehrkonstruktionen, wie beispielsweise das Sektorwehr denkbar (z. B. Konstruktion der Wehranlagen an der Mosel), dessen Hauptvorteil der geringen Sichtbarkeit für dieses Bauwerk aber nicht relevant ist.

Im Zuge der Ideenfindung wurde auch der Einsatz von Schlauchwehren vorgeschlagen, der im konkreten Fall aufgrund der relativ großen Verschlusshöhe problematisch ist. Es wären sehr große Schlauchdurchmesser erforderlich, die zu langen Bewegungszeiten der Verschlüsse führen würden. Eine besondere Unterart der Schlauchwehre ist das sogenannte Obermeyer-Wehr (siehe Abbildung 3-7), bei dem eine feste Stauhaut durch einen schlauchartigen Auftriebskörper (Luft- und Wasserfüllung) bewegt wird. Da der Schlauch an der Stauhaut (Wehrklappe) fixiert werden kann, kann der Auftriebskörper vergleichsweise klein gehalten werden.

Bei der Auswahl einer geeigneten Konstruktion ist ein schnelles Senken und Heben des Verschlusses erforderlich, weil der Verschluss zu jeder Hochwasserphase (ca. 2 mal pro Tag) bewegt werden muss.

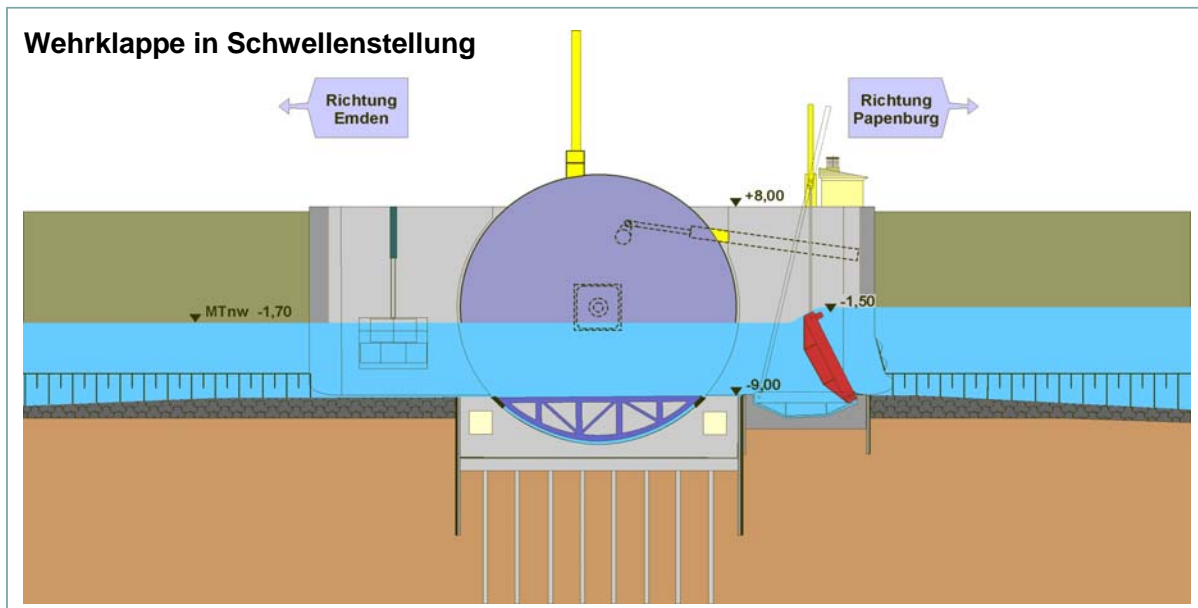


Abbildung 3-6: Querschnitt durch Hauptschiffahrtsöffnung, „Anbau“ eines beweglichen Verschlusses als Wehrklappe oder Sektorwehr

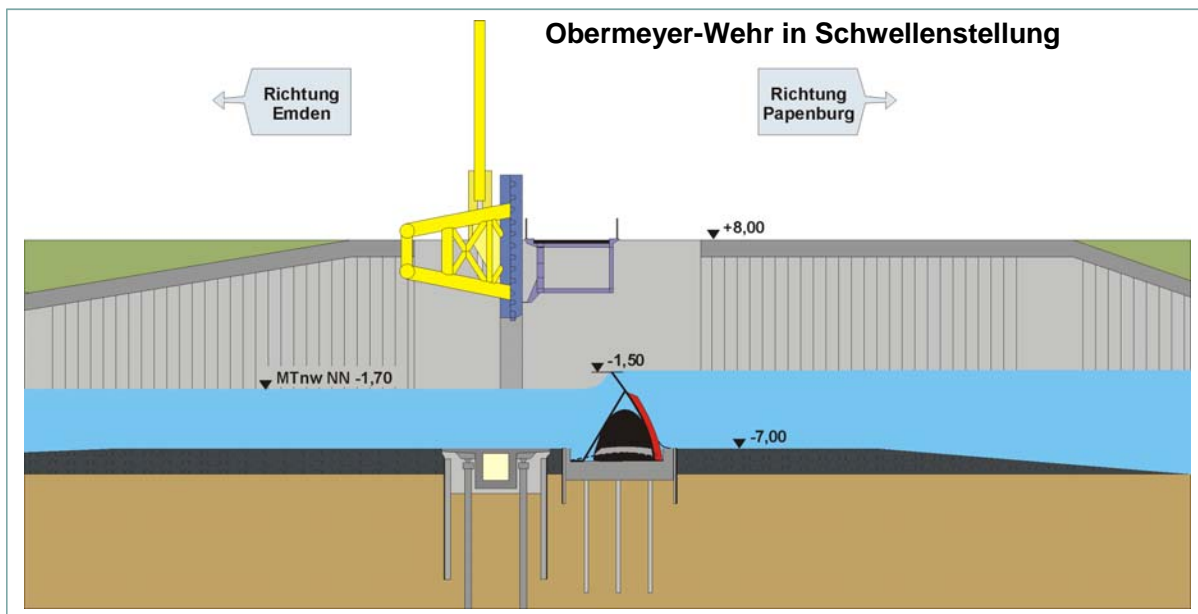


Abbildung 3-7: Querschnitt durch Hauptschiffahrtsöffnung, „Anbau“ eines beweglichen Verschlusses als Wehrklappe oder Sektorwehr

### 3.1.3 Lage der Schleusen

In Abschnitt 2.2 ist die nutzbare Abmessung der Schleusenkommer mit 225 x 27 m definiert. Zur Schleuse gehören zusätzlich noch die Schleusenvorhären, deren Länge bei rund 350 m liegt. Von diesen 350 m entfallen etwa 100 m auf die Verengung des Vorhafens zur Einfahrt in die Schleuse und der Rest auf Notliegeplätze für die Binnenschiffahrt.

Die Schleuse mit ihren Vorhären ist Teil der Ems. Es ist zu klären, in welchem Maße die strömungsberuhigten Bereiche der Schleusenvorhären von der durchströmten Ems getrennt werden müssen. Die Vorhären könnten durch Spundwände abgeteilt werden, wodurch ein strömungsberuhigter Bereich vor den Schleusen entsteht, in dem ein sicheres An- und Ablegen an den Liegeplätzen und eine Einfahrt in die Schleusen erleichtert wird. Diese Ausbildung der Vorhären ist allerdings recht aufwendig. Es ist deswegen aus nautischer Sicht zu prüfen, ob auch der Einbau einer Dalbenreihe ausreichend sein kann.

Bei einer Lage der Schwelle in Sperrwerksachse können sich die verschiedenen Lösungsideen für Schleusen auch durch Mitverwendung der Sperrwerksverschlüsse unterscheiden, wie die im folgenden skizzierten Ideen zeigen. Eine besondere Bedeutung bei der Wahl der Schleusenlage hat auch die Hauptschiffahrtsöffnung, da durch diese auch zukünftig die Werftschiffe mittels Dockschleusung das Sperrwerk passieren müssen. Zunächst ist, wie Abbildung 3-8 zeigt, die Anordnung der Schleuse theoretisch in allen Öffnungen denkbar. Wegen der geringen Wassertiefen kann aber auf eine Betrachtung von Schleusenlagen in den südlichen drei Nebenöffnungen (Nebenöffnungen 3 bis 5) verzichtet werden.

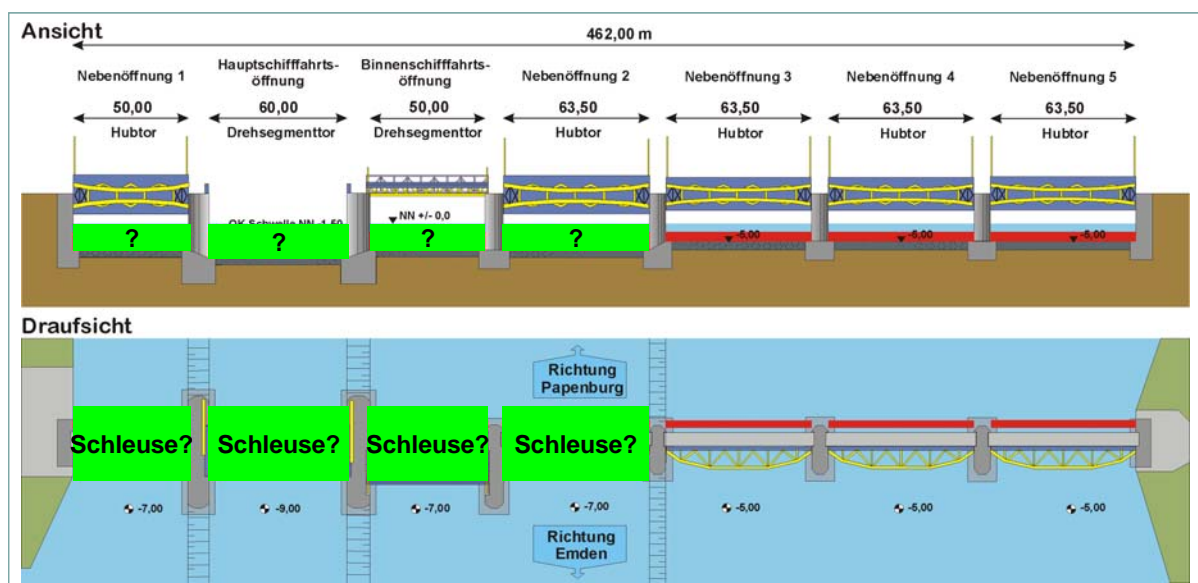


Abbildung 3-8: Mögliche Lagen der Schleuse bei Anordnung der Schwelle im Bereich des Sperrwerks



Eine sich aufdrängende Anordnung der Schleuse ist die Lage in der nördlichen Nebenöffnung (Nebenöffnung 1). An dieser Stelle war bereits während der Planung des Sperrwerkes eine Schleuse vorgesehen worden, auf die im Laufe der planerischen Konkretisierung des Sperrwerkes dann verzichtet werden konnte.

Abbildung 3-9 zeigt einen Lageplan mit der Darstellung der Schleuse. Die notwendigen Entwicklungslängen für die Schleusenvorhöfen sind hier nicht dargestellt.

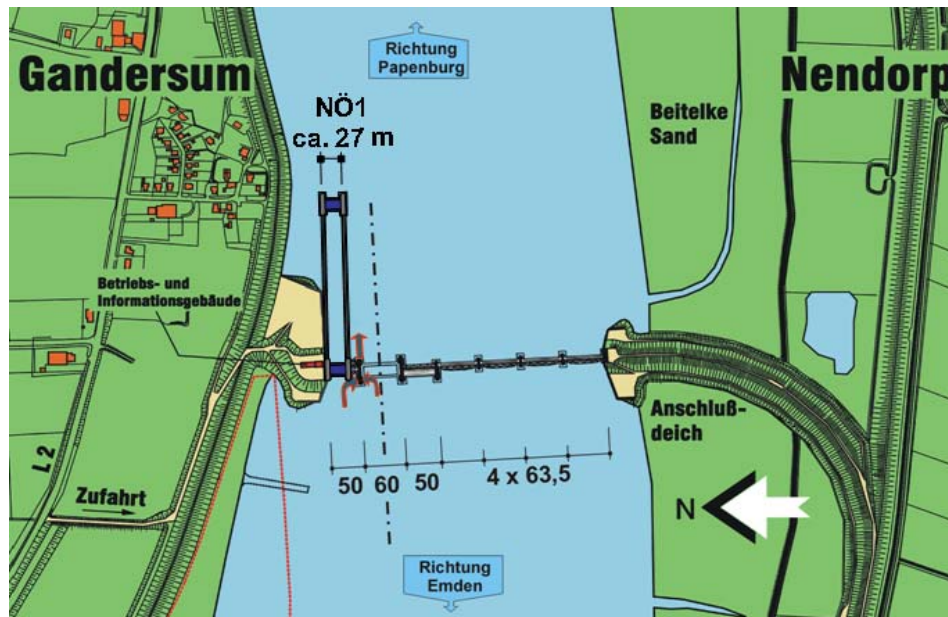


Abbildung 3-9: Lage der Schleuse in der Nebenöffnung 1 (NÖ1)

Bei einer Schleusenbreite von 27 m ist der vorhandene Verschluss in der Nebenöffnung durch das Schleusenbauwerk zu ersetzen. Der verbleibende Zwischenraum kann durch eine feste Barriere aufgefüllt werden. In dieser Lage muss das unterstromige Schleusentor die Hochwasserschutzfunktion übernehmen. Die Anordnung hat so zu erfolgen, dass die Pumpenfunktion des angrenzenden Pfeilers zur Hauptschiffahrtsöffnung gewährleistet werden kann. Schleuse und Schleusenvorhöfen sind so anzuordnen, dass die Passierbarkeit der Hauptschiffahrtsöffnung insbesondere für die Werftschiffüberführungen gewährleistet ist. Da Schleuse und Vorhafen dicht an die Fahrrinne heranrücken, ist die Manövrierbarkeit dieser großen Schiffe etwas eingeschränkt.

In gleicher Weise könnte eine Schleusenkammer in der Nebenöffnung 2 angeordnet werden (siehe Abbildung 3-10). Auch hier ist der Sperrwerksverschluss zu ersetzen und muss das unterstromige Schleusentor die Hochwasserschutzfunktion übernehmen. Bei entsprechender Konstruktion kann die Funktion der Pumpen in den angrenzenden Pfeiler gewährleistet werden. Bei dieser Anordnung ist die Dockschleusung der Werftschiffe durch die Hauptschiffahrtsöffnung vergleichsweise einfach möglich, weil der Abstand der Schleuse

zur Hauptschiffahrtsrinne größer ist als bei der Lage der Schleuse in der nördlichen Nebenöffnung.

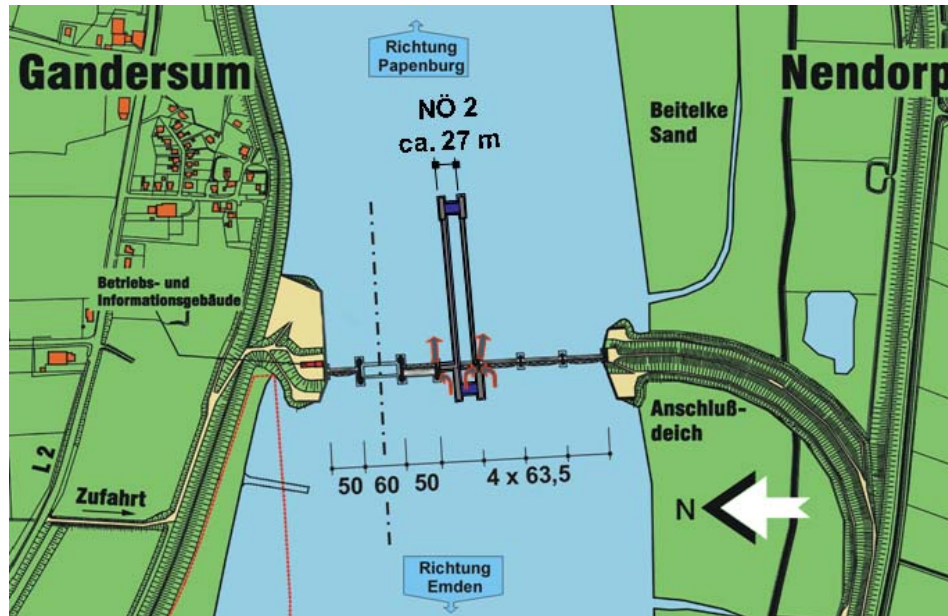


Abbildung 3-10: Lage der Schleuse in der Nebenöffnung 2 (NÖ2)

Es ist grundsätzlich auch denkbar, die Schleuse in der Binnenschiffahrtsöffnung anzuordnen (siehe Abbildung 3-11). In der hier dargestellten Lösungs-idee soll der Sperrwerksverschluss die Funktion des unterstromigen Schleusentores übernehmen. Dies spart Investitionskosten, bringt aber den Nachteil einer Höhenbegrenzung für die durchfahrenden Schifffahrt mit sich. Die Pumpenfunktion der angrenzenden Pfeiler ist auch bei dieser Konstruktion gewährleistet; ggf. sind allerdings ergänzende Baumaßnahmen notwendig. In Bezug auf die Dockschleusung der Werftschiffe durch die Hauptschiffahrtsöffnung ist diese Lösung wieder nachteiliger, weil die Schleuse dicht an die Schifffahrtsrinne heranrückt und so den Manövrierraum für die Schiffe vor der Durchfahrt einschränkt.

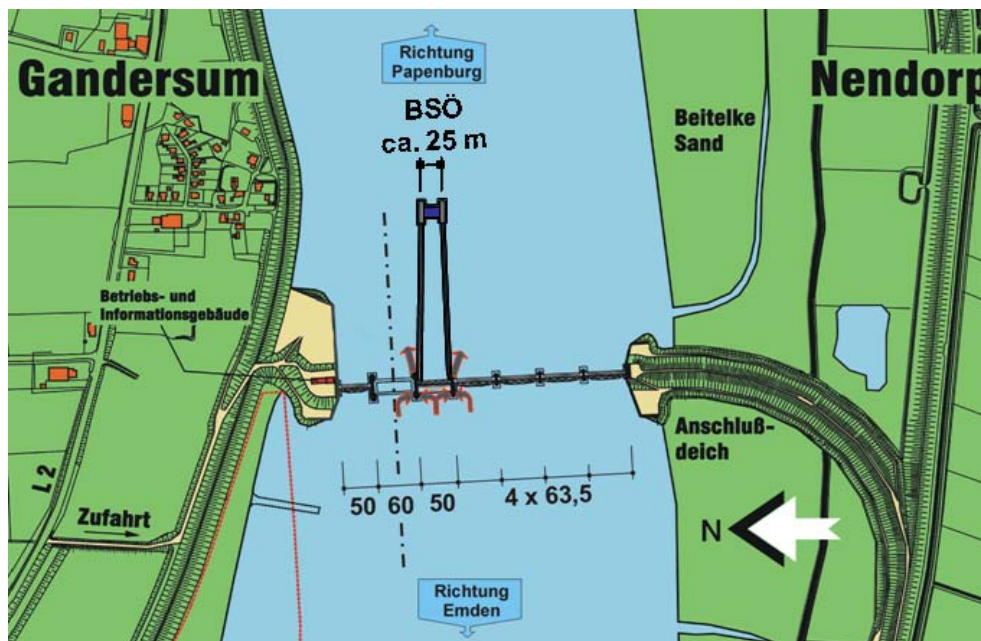


Abbildung 3-11: Lage der Schleuse in der Binnenschiffahrtsöffnung (BSÖ)

Letztendlich wäre es auch möglich, die Schleuse in der Hauptschiffahrtsöffnung anzuordnen, wie in Abbildung 3-12 gezeigt. Ob dies durchgängig in einer Breite von 60 m geschehen müsste, wäre durch nähere Planung zu prüfen. Für die Realisierbarkeit dieser Lösungsidee ist sicherzustellen, dass die Pumpen in den angrenzenden Pfeilern funktionsfähig bleiben. Der vorhandene Sperrwerksverschluss, das Kreisdrehsegment, ist wegen der geringen Bewegungsgeschwindigkeit nicht als Schleusentor geeignet. Es könnte wie bisher in Ruhestellung verbleiben und als Schleusentore könnten kleinere Drehsegmente mit geringerer Verschlusshöhe eingesetzt werden. Die Schifffahrt hätte damit eine große Schleuse und dementsprechend geringe Kapazitätseinschränkungen. Allerdings ist aus nautischer Sicht zu beurteilen, ob die Dockschleusung der Werftschiffe durch diese Anordnung der Schleuse möglich ist. Insbesondere bei Seitenwinden ist zu erwarten, dass die Durchfahrt als Freifahrer mit Schlepperassistenz schwierig wird.

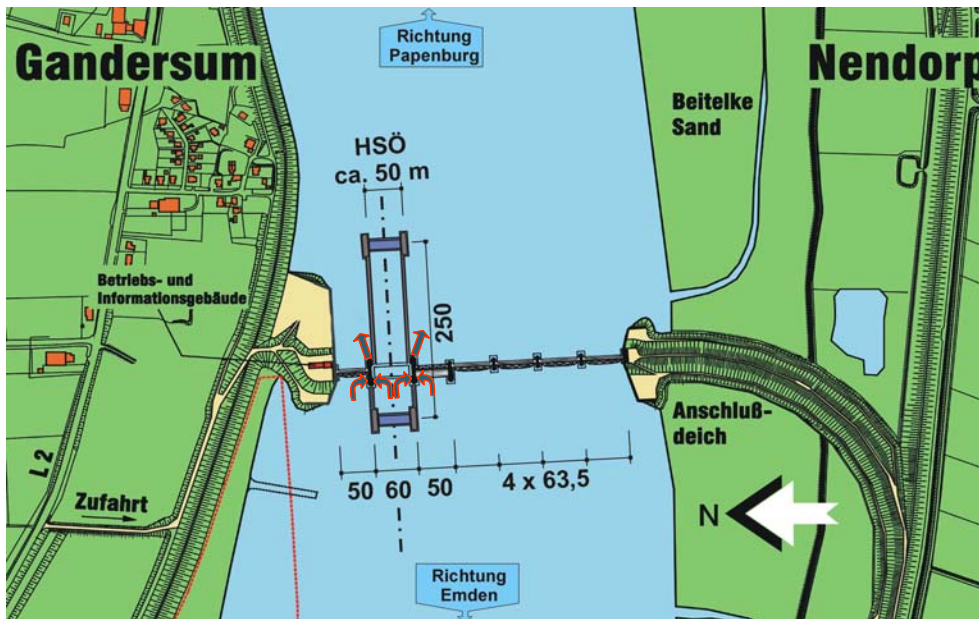


Abbildung 3-12: Lage der Schleuse in der Hauptschiffahrtsöffnung (HSÖ)

### 3.1.4 Schleusentorkonstruktionen

Tabelle 3-1 zeigt eine Auflistung der gängigen Schleusentorsysteme. Grundsätzlich können sämtliche Schleusentorkonstruktionen für den vorliegenden Fall eingesetzt werden. Diese haben jedoch teilweise recht unterschiedliche Eigenschaften, die in Tabelle 3-1 aufgeführt sind.

Tabelle 3-1: Auflistung gängiger Schleusentorsysteme mit ihren kennzeichnenden Eigenschaften

	Baubar in	kein zus. Breitenbedarf	beidseitig belastbar (Tide)	keine Durchfahrts-Begrenzung	öffnen bei Wasserüberdruck füllen, spülen	keine zusätzl. Füllschütze erforderlich	geringe Bewegungsempfindlichkeit bei großem Schlickanfall und Fremdkörpern	Integration einer Brücke möglich	Schlickarmes befüllen der Schleuse
<b>Drehsegment</b>	NÖ1,2 BSÖ HSÖ	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nein	ja überströmen
<b>Segment-schütz</b>	NÖ1,2 BSÖ	ja	ja	nein	ja	ja	ja	ja	nein
<b>Hubtor</b>	NÖ1,2 BSÖ	ja	ja	nein	ja	ja	ja	ja	nein
<b>Sektortor</b>	NÖ1,2 BSÖ	nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
<b>Stemmtor</b>	NÖ1,2 BSÖ	ja	nein	ja	nein	nein	nein	ja	nein
<b>Schiebetor</b>	NÖ1,2 BSÖ	nein	ja	ja	nein	nein	nein	ja	nein

Anhand dieser charakteristischen Eigenschaften, wie z. B. Unempfindlichkeit gegen Schlickanfall oder die Möglichkeit eine Brücke zu integrieren, können grundsätzlich geeignete Schleusentorvarianten identifiziert werden.

### **3.1.5 Konstruktive Ausbildung der Schleusenkammerwände und -sohle**

Für Schleusenkammerwände, die nur geringe Wasserdruckdifferenzen aufnehmen müssen, bieten sich Spundwandkonstruktionen, sogenannte Fangedämme, an. Die Lastaufnahme erfolgt hier durch die kombinierte Tragwirkung von Spundwänden und Boden.

Alternativ kann die Schleusenkammerwand auch als massive Betonkonstruktion ausgebildet werden. Diese Konstruktionen können wesentliche höhere Lasten aufnehmen und bilden kompaktere Baukörper. Die Pfeiler des Emssperrwerkes entsprechen diesem konstruktiven Grundmuster.

Die Schleusenkammersohle kann zum einen hydraulisch durchlässig gestaltet werden oder zum anderen undurchlässig mit einer Verankerung in den Baugrund zur Aufnahme der Auftriebskräfte. Die erstgenannte Konstruktion ist möglich, wenn die aufzunehmenden Wasserdrücke gering sind. Bei hohen Wasserdrücken muss die Sohle undurchlässig gestaltet werden, um schädliche Durchsickerungen im angrenzenden Bodenkörper zu vermeiden. Gleichzeitig kann eine Schleusenkammer mit undurchlässiger auftriebssicherer Sohle auch gelenzt und inspiziert werden.

Die aufgezeigten Lösungsmöglichkeiten sind mit unterschiedlichen Investitionskosten verbunden. Im Zuge der näheren Untersuchung dieser Möglichkeiten ist die Eignung der kostengünstigen Lösungen für den hier vorliegenden Fall zu überprüfen.

### **3.2 Festlegung der Ausschlusskriterien – Mindestbedingungen für Lösungsideen**

Der erste Schritt für die Auswahl geeigneter Untersuchungsvarianten besteht in der Definition von Mindestbedingungen und Ausschlusskriterien. Diese sollen anhand von drei Kategorien definiert werden:

- Funktionalität des geplanten Bauwerks als Schwelle
- Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs und
- Aufrechterhaltung der bisherigen Funktionen des Sperrwerkes.

Aufgrund der gestellten planerischen Zielsetzung erfüllen alle skizzierten technischen Lösungsmöglichkeiten die Funktionalität als Schwellenbauwerk, so dass in dieser Kategorie keine besonderen Mindest- und Ausschlusskriterien identifiziert werden können, mit deren Hilfe einzelne Lösungsideen vorab abschließbar wären.

In der Kategorie Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs können Ausschluss- und Mindestbedingungen nur eingeschränkt definiert werden. Alle skizzierten Ideen, insbesondere jene zur Lage der Schleuse lassen zumindest theoretisch eine Passage der Schiffe zu. Ursächlich dafür ist, dass unter Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs primär eine Qualität verstanden wird und in dieser Hinsicht sind die aufgezeigten Lösungsideen auch höchst unterschiedlich. Gleichzeitig kann die nautische Qualität nur im Gesamtzusammenhang von Lage des Schwellenbauwerkes und Lage der Schleusen zur Fahrrinne beurteilt werden, so dass dieses Qualitätskriterium zum zentralen Bestandteil der Variantenbewertung wird.

Allerdings kann in der Kategorie Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs auch ein Ausschlusskriterium definiert werden: Weil die Schleusen auch für Kümos passierbar bleiben sollen, kommen als Lösung für die Schleusentorsysteme nur solche ohne Höheneinschränkung in Frage. Damit scheiden beispielsweise die Schleusentorkonstruktionen das Segmentschütz und das Hubtor aus.

In der dritten Kategorie der Aufrechterhaltung der Funktionen des Sperrwerkes wird der Sturmflutschutz durch keine der genannten Ideen eingeschränkt. Das ggf. zusätzlich mögliche Gefährdungspotenzial der Sperrwerksverschlüsse durch die Schifffahrt ist im Rahmen der Bewertung zu betrachten. In jedem Falle müssen Schleusen, die in der Sperrwerkslinie angeordnet sind, für den Sturmflutschutz geeignete Torkonstruktionen haben.

### **3.3 Diskussion der Lösungsideen**

#### **3.3.1 Lage des Schwellenbauwerkes**

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit das Schwellenbauwerk und die zugehörige Schleuse unterhalb oder oberhalb des bestehenden Sperrwerkes oder wie in Abbildung 3-1 skizziert, in der Sperrwerkslinie anzuordnen. Gegen eine Anordnung der Schwelle außerhalb des Sperrwerksquerschnittes sprechen die beiden folgenden Nachteile:

- Die Durchfahrt für die Schifffahrt ist vergleichsweise schwierig, weil nacheinander das Schwellenbauwerk und das Sperrwerk (oder umgekehrt) passiert werden müssen.
- Eine Schwelle außerhalb des Sperrwerksquerschnittes bietet nicht den (theoretischen) Vorteil, dass das Sperrwerk auch im Staufall durch die Schleuse passiert werden könnte. Diesem Argument wird derzeit allerdings nur geringe Bedeutung zugemessen, weil zur Zeit während des Staufalls die Schifffahrt grundsätzlich eingestellt wird, um nicht infolge einer Havarie auf der Strecke zwischen Sperrwerk und Papenburg die Überführung zu gefährden..

Es lassen sich aber auch zwei zentrale Vorteile für die Anlage der Schwelle außerhalb des Sperrwerkes definieren:

- Es wird möglich, einen Großteil der Schwelle als robusten und preiswerten Steinschüttdamm, also als feste Schwelle, in einer großen Länge zu errichten.
- Der bewegliche Teil der Schwelle kann mit nur einem Verschluss auf Fahrrinnenbreite ausgelegt werden, wodurch eine besonders große Durchfahrtsöffnung möglich wird.

Anhand der Vorüberlegungen ist es nicht möglich, eine klare Einschätzung darüber zu gewinnen, ob auch Lösungsideen für eine Schwelle außerhalb des Sperrwerksquerschnittes sinnvoll sind oder nicht. Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie wird deswegen eine Variante untersucht, bei der das Schwellenbauwerk oberhalb des Sperrwerkes zwischen Sperrwerk und Kurve bei Oldersum angeordnet wird. Diese Anordnung erfolgt so, dass die potenzielle Behinderung der Schifffahrt möglichst minimiert wird.

Von einer weiteren Variante mit Lage der Schwelle unterstrom des bestehenden Sperrwerkes wird aufgrund folgender Nachteile abgesehen:

- Unterstrom des Sperrwerkes weist das Fahrwasser einen kurvenförmigen Verlauf auf, der bereits heute die Durchfahrt durch das Sperrwerk bei Flutstrom erschwert. Bei Anordnung der Schwelle in diesem Abschnitt würden weitere Erschwernisse bei der Durchfahrt der Abfolge aus Schleuse/Schwelle und Sperrwerk entstehen.
- Die Lage der Schwelle unterstrom des Sperrwerkes würde auch die Werftschiffüberführung behindern, da das zur Verfügung stehende Zeitfenster nach Ablegen vom Großschiffsliegeplatz für die Durchfahrt der Kunstbauwerke und Passage bis Emden während der Hochwasserphase knapp bemessen ist.
- Unterstrom des Sperrwerkes weitet sich die Ems auf, was die Bauwerke der Schwelle und der Anschlusskonstruktionen verlängert und damit aufwändiger macht.

### 3.3.2 Art der Verschlusskörper zur Ausbildung der Schwelle

Die aufgezeigten Lösungen für die feste Schwellenkonstruktionen sind alle machbar und sollten im Rahmen der weiteren Untersuchung betrachtet werden.

Die aufgezeigten Lösungsideen für beweglichen Schwellenkonstruktionen sollten ebenfalls detailliert untersucht werden, bieten sie doch (wie bereits in Abschnitt 3.1.2 beschrieben) unter anderem den Vorteil, eine Passage der Schiff-

fahrt während eines Tidezeitfensters bei Tidehochwasser ohne Schleuse zu ermöglichen.

Für das Kreisdrehsegment der Hauptschifffahrtsöffnung ist zu untersuchen, ob die Anpassung des bestehenden Verschlusses für die Funktion als bewegliche Schwelle möglich ist oder ob ein separater beweglicher Verschluss für diesen Sperrwerksabschnitt eine bessere Lösung darstellt.

### 3.3.3 Lage der Schleuse

Bei einer Lage des Schwellenbauwerkes oberhalb des Sperrwerkes drängt sich die Anordnung zwischen Fahrwasser und Nordufer auf, weil die Schleuse dadurch von Land her erreichbar wird.

Für Lösungsideen, bei denen die Schwelle innerhalb des Sperrwerksquerschnittes angeordnet wird, können theoretisch alle Öffnungen des Sperrwerkes für den Einbau einer Schleuse herangezogen werden. Vergleicht man die verschiedenen Alternativen miteinander, so ergeben sich die im folgenden beschriebenen sinnvollen Lösungsvorschläge.

- Bei Anordnung der Schleuse in der Hauptschifffahrtsöffnung wären sehr große Schleusenabmessungen erforderlich, da die bisherige Durchfahrtsbreite von 60 m erhalten bleiben müsste. Ferner wäre das Werftschiff weiterhin im Rahmen einer Dockschleusung durch diese breite Schleuse zu überführen, wollte man sie nicht mit der vollen Länge des Werftschiffes dimensionieren. Die Anordnung der Schleuse in der Hauptschifffahrtsöffnung wäre also ausgesprochen nachteilig und teuer und kann deswegen ausgeschlossen werden.

Stattdessen drängen sich die folgenden Lagevarianten auf:

- *Anordnung der Schleuse in der nördlichen Nebenöffnung (NÖ1):*  
Die Schleuse ist von Land aus gut erreichbar hat allerdings den Nachteil, dass sie dicht an der Hauptschifffahrtsöffnung liegt. Dadurch müssen die Wände der Schleusen und insbesondere die der Vorhäfen dicht an der Schifffahrtsrinne errichtet werden.
- *Anordnung der Schleuse in der Nebenöffnung 2 (Nebenöffnung neben der Binnenschifffahrtsöffnung):*  
Bei dieser Lage ist der Abstand zur Schifffahrtsrinne groß, allerdings kann die Schleuse nur von der Südseite des Sperrwerkes über die Brücken erreicht werden, was zusätzlichen Aufwand bei Betriebsgebäuden und Versorgung erzeugt.
- *Anordnung der Schleuse in der Binnenschifffahrtsöffnung:*  
Diese Lagevariante ist insgesamt wenig vorteilhaft, weil die Schleuse nahe an der Fahrtrinne liegen würde und ggf. eine wertvolle weitere Öffnung für den beweglichen Verschluss aufgegeben werden müsste.



### 3.3.4 Schleusentorkonstruktionen

Die in Abschnitt 3.1.4 genannten Schleusentorkonstruktionen, die nicht zu Höhenbeschränkungen für die Schifffahrt führen sind denkbare Lösungsmöglichkeiten und werden deswegen in der weiteren Untersuchung berücksichtigt.

### 3.3.5 Konstruktive Ausbildung der Schleusenammerwände und -sohle

Die in Abschnitt 3.1.5 genannten Konstruktionen sind grundsätzlich für die vorliegende Planungsaufgabe geeignet und werden deswegen auch in der Untersuchung betrachtet.

## 3.4 Zu untersuchende Varianten

Es empfiehlt sich, die Untersuchung der Varianten in zwei Stufen vorzunehmen. Auf der ersten Stufe werden zunächst einzelne technische Lösungen in Teilvarianten betrachtet und miteinander verglichen. Die jeweils besten Lösungen werden in sinnvollen Gesamtvarianten kombiniert. Auf diese Weise wird die Bewertung der Varianten vereinfacht und es wird die Übersichtlichkeit erhöht.

### 3.4.1 Zu untersuchende Teilvarianten

Aus der oben beschriebenen Diskussion der Lösungsideen können die folgenden näher zu untersuchenden Teilvarianten abgeleitet werden:

- *TV-FS: feste Schwellen*
  - \* TV-FS.1: Steinschüttdamm mit Kern aus Schotter
  - \* TV-FS.2: Steinschüttdamm mit Kern aus geotextilen Containern
  - \* TV-FS.3: Spundwand
  - \* TV-FS.4: Verschlusskörper unter den bestehenden Sperrwerkstoren
  
- *TV-BS: bewegliche Schwellen / Verschlüsse*
  - \* TV-BS.1: Drehsegment
  - \* TV-BS.2: Klappe
  - \* TV-BS.3: Obermeyer-Wehr
  - \* TV-BS.4: Kreisdrehsegment der HSÖ
  
- *TV-ST: Schleusentorsysteme (ohne Höhenbeschränkung) mit Befüllereinrichtungen*
  - \* TV-ST.1: Drehsegment
  - \* TV-ST.2: Sektortor
  - \* TV-ST.3: Stemmtor
  - \* TV-ST.4: Schiebtor

- *TV-SK: bautechnische Lösungen der Schleusenammer*
  - \* TV-SK.1: Massive Seitenwände
  - \* TV-SK.2: Seitenwände als Fangedamm
  - \* TV-SK.3: hydraulisch durchlässige Sohle
  - \* TV-SK.4: undurchlässige Betonsohle

### 3.4.2 Zu untersuchende Gesamtvarianten

Die dargestellten Lösungsideen zur Lage von Schwelle und Schleuse werden mit den aus der Bewertung der Teilvarianten hervorgegangenen besten Lösungen der Teilvarianten zu Gesamtvarianten kombiniert und weitergehend untersucht. Folgende Gesamtvarianten werden definiert:

#### • Gesamtvariante A.1

Diese Variante besteht aus einer Schwelle oberhalb des Sperrwerks etwa in der Mitte zwischen dem Sperrwerk und der Emskurve bei Oldersum.

- \* Die Schleusenammer wird auf der Nordseite der Fahrrinne, also zwischen Nordufer und Fahrrinne angeordnet, so dass sie von Land her erreichbar wird.
- \* Die Schwelle besteht in der Fahrrinne aus einer beweglichen Konstruktion, deren optimale Verschlussart sich aus der Beurteilung der Teilvarianten ergibt. Sie erhält eine Breite von rund 75 m, was der Breite der Fahrrinne entspricht.
- \* Zwischen Fahrrinne und südlichem Ufer wird eine feste Schwelle gemäß optimaler Lösung der Bewertung der Teilvarianten angeordnet.

#### • Gesamtvariante B.1

Diese Variante besteht aus einer Schwelle im Sperrwerksquerschnitt mit den folgenden Bauteilen:

- \* Die Schleuse wird in der Nebenöffnung 1 (NÖ1) angeordnet. Sie ist über das Nordufer bzw. über das vorhandene Betriebsgebäude des Sperrwerkes und die zugehörigen Vordeichflächen erreichbar.
- \* In der Hauptschiffahrtsöffnung und in der Binnenschiffahrtsöffnung werden bewegliche Schwellen angeordnet, deren Konstruktion der optimalen Lösung gemäß Teilvariantenuntersuchung entspricht. Die Nebenöffnungen 1 bis 4 erhalten feste Schwellen gemäß optimaler Lösung der Teilvarianten.
- \* In einer ergänzenden Untervariante wird der Verzicht auf eine bewegliche Schwelle in der BSÖ betrachtet. Hierdurch soll die damit verbundene Kostenveränderung transparent gemacht werden.

- **Gesamtvariante B.2**

Auch diese Gesamtvariante besteht aus einem Schwellenbauwerk im Sperrwerksquerschnitt.

- \* Die Schleuse wird in der Nebenöffnung 2 (NÖ2) angeordnet. Sie ist damit für Landfahrzeuge nur noch von der Südseite über die Brücken des Sperrwerkes erreichbar.
- \* Die Nebenöffnung 1, die Binnenschifffahrtsöffnung und die Nebenöffnungen 3 bis 5 werden mit festen Schwellen ausgestattet.
- \* In der Hauptschifffahrtsöffnung wird eine bewegliche Schwelle angeordnet.
- \* In einer Untervariante wird der Kostenunterschied zwischen einer beweglichen Schwelle und einer festen Schwelle in der Binnenschifffahrtsöffnung untersucht.

Die drei genannten Gesamtvarianten sind in den folgenden Lageplänen dargestellt.

- Gesamtvariante A.1: Zeichnung 90122-S-A1-01
- Gesamtvariante B.1: Zeichnung 90122-S-B1-01
- Gesamtvariante B.2: Zeichnung 90122-S-B2-01.

### **Anmerkung**

Im Vorfeld wurde auch die Möglichkeit diskutiert, sämtliche Öffnungen des Sperrwerkes mit beweglichen Schwellenverschlüssen zu verschließen. Diese Variante wird nicht detailliert untersucht, weil sie mit potenziell hohen Investitions- und Unterhaltungskosten verbunden wäre und weil sie keine weiteren Vorteile für die Schifffahrt erbringen kann. Die Untersuchung einer solchen Variante wäre nur dann sinnvoll, wenn es Planungsziel wäre, den heutigen Zustand zeitweise wieder herstellen zu können oder die Höhe der Schwelle in der Natur zu optimieren.

## 4 Darstellung und Wertung der Teilvarianten

### 4.1 Feste Schwellen

#### 4.1.1 Beschreibung der Varianten

Gemäß den in Kapitel 3 dargestellten Vorüberlegungen werden die folgenden Varianten der festen Schwellen untersucht:

- Teilvariante FS.1: Steinschüttdamm mit Kern aus Schüttsteinen
- Teilvariante FS.2: Steinschüttdamm mit Kern aus geotextilen Containern
- Teilvariante FS.3: Spundwand
- Teilvariante FS.4: fester Verschlusskörper unter den bestehenden Sperrwerkstoren.

Im Folgenden werden die Varianten zunächst vorgestellt und abschließend einer vergleichenden Bewertung zugeführt:

#### Teilvariante FS.1: Steinschüttdamm mit Kern aus Schüttsteinen

Die Konstruktion des Dammes aus Schüttsteinen in Abbildung 4-1 dargestellt. Weitere Details enthalten die Zeichnungen 90122-S-SW-02, 06 und 07.

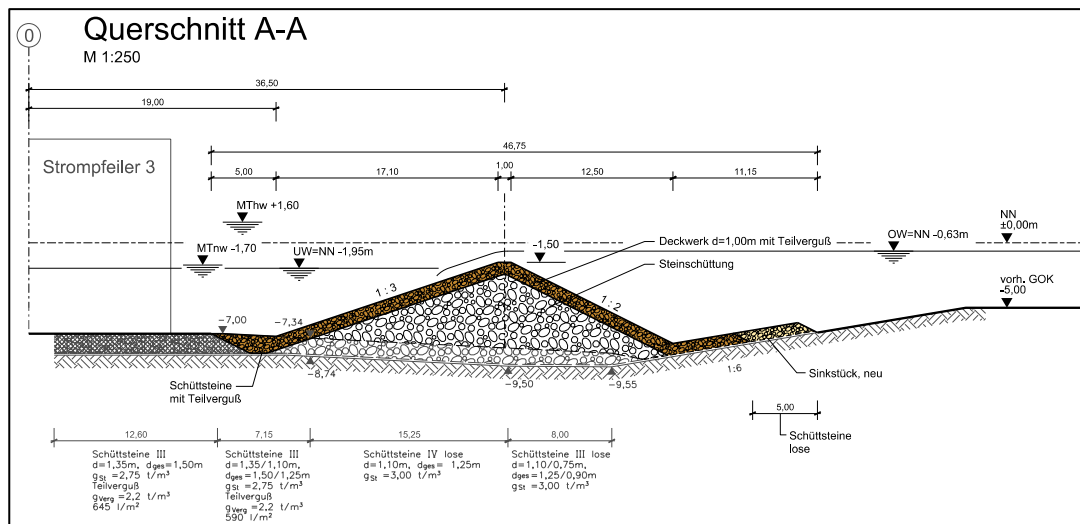


Abbildung 4-1: Querschnitt, feste Schwelle in Schüttsteinbauweise

Der in der Abbildung 4-2 dargestellte Querschnitt zeigt die Situation bei einer Höhenlage der Gewässersohle von NN -7,0 m.

Die Böschungsneigungen sind gemäß den geotechnischen Standsicherheitsanforderungen ausgelegt. In Richtung Emden (unterstrom) ist eine Böschungs-

neigung von 1:3 erforderlich, in Richtung Papenburg (oberstrom) ist eine Böschungsneigung von 1:2 ausreichend.

Ferner wurden die Sickerwassermengen durch den Damm abgeschätzt. Selbst unter ungünstigen Berechnungsansätzen (hohe Durchlässigkeit des Dammes) liegen diese unter  $10 \text{ l/(s m)}$ , so dass sich für den gesamte Damm eine Durchsickerungsmenge von rd.  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  ergäbe. Diese ist wesentlich geringer, als der Abfluss über die Schwelle, so dass eine Beeinflussung des Abflussgeschehens durch die Sickerwassermengen ausgeschlossen werden kann.

Der Damm kann in folgender Reihenfolge errichtet werden:

- Zunächst ist der vorhandene Kolkenschutz bis auf das Sinkstück abzutragen. Das Sinkstück ggf. zu ergänzen oder ein neues Sinkstück zu verlegen.
- Auf das Sinkstück ist der Kern aus Schüttsteinen aufzuschütten und dieser Zug um Zug mit dem Deckwerk zu belegen.
- Im Anschluss erfolgt der Teilverguss des Deckwerkes bis zum Anschluss an den vorhandenen Kolkenschutz.

Die Kosten für die feste Schwelle betragen bezogen auf den laufenden Meter

- bei einer Gewässersohlehöhe von NN -7,0 m 10.000,- €/pro lfdm
- bei einer Gewässersohlehöhe von NN -5,0 m 6.000,- €/pro lfdm.

### **Teilvariante FS.2: Steinschüttdammkern aus geotextilen Containern**

Die Dammbauweise der festen Schwelle mit einem Kern aus geotextilen Containern ist in Abbildung 4-2 im Querschnitt dargestellt. Die Situation zeigt den Damm bei einer Gewässersohlehöhe von NN -7,0 m. Weitere Details enthalten die Zeichnungen 90122-S-SW-06 und 07.

Auch für diese Dammbauweise wurden geotechnische Standsicherheitsnachweise geführt. Weil für die Kombination aus Geotextilien mit Sandkern keine höheren Reibungswinkel angesetzt werden können, ergeben sich vergleichbare Böschungsneigungen wie bei dem Damm mit Schüttsteinbauweisen. Sie betragen unterwasserseitig 1 : 3 und oberwasserseitig 1 : 2.

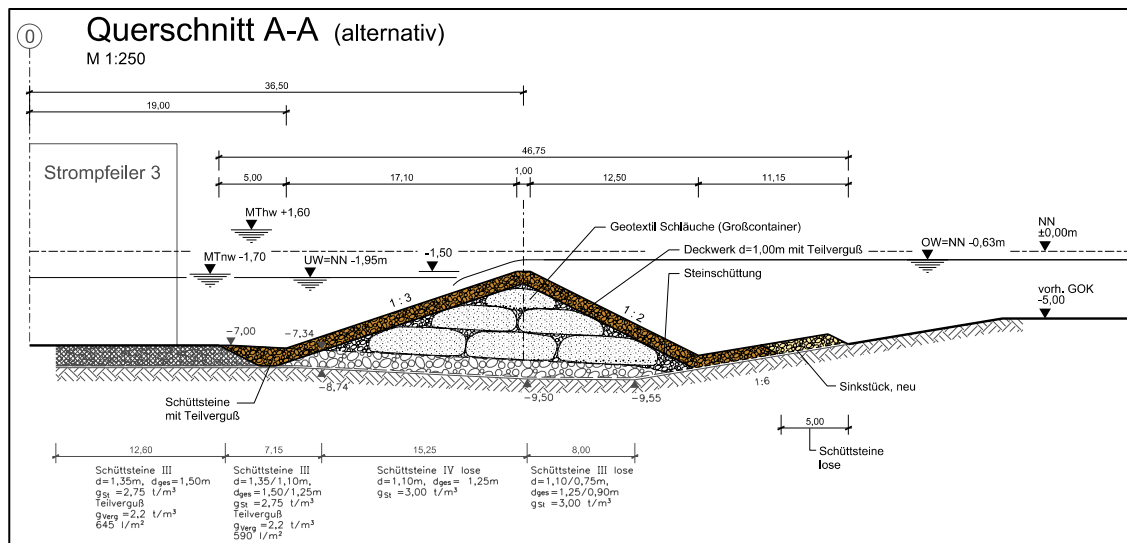


Abbildung 4-2: Querschnitt, feste Schwelle, Bauweise mit Kern aus geotextilen Containern

Die Durchlässigkeit des Kernmaterials aus geotextilen Containern ist deutlich geringer als die des Kerns aus Schüttsteinen, so dass die Durchsickerung ein noch geringeren Einfluss auf den Abfluss hat.

Der Damm mit Kern aus geotextilen Containern kann in vergleichbarer Weise zum Damm in Schüttsteinen errichtet werden:

- Zunächst ist auch hier der vorhandene Kolkschutz bis auf das Sinkstück abzutragen, dieses zu ergänzen und neue Sinkstücke zu verlegen.
- Dann wird in einem ersten Schritt der Kern aus Sandcontainern gesetzt.
- Die Unebenheiten werden mit Schotter ausgeglichen und das Deckwerk wird aufgelegt.
- Abschließend erfolgt der Teilverguss des Deckwerkes, um eine dauerhafte Stabilität zu erreichen.

Die Kosten für den Steinschüttdammkern aus geotextilen Containern betragen pro lfdm:

- bezogen auf eine Gewässersohlenhöhe von NN -7,0 m 8.550,- €pro lfdm
- bezogen auf eine Gewässersohlenhöhe von NN -5,0 m 5.600,- €pro lfdm

### Teilvariante FS.3: Feste Schwelle in Spundwandbauweise

Die Abbildung 4-3 und Abbildung 4-4 enthalten einen Querschnitt mit einer Ansicht der festen Schwelle im Spundwandbauweise. In beiden Abbildungen ist die Situation bei einer Gewässersohlenhöhe von NN -7,0 m dargestellt. Weitere Details enthalten die Zeichnungen 90122-S-SW-06 und 07.

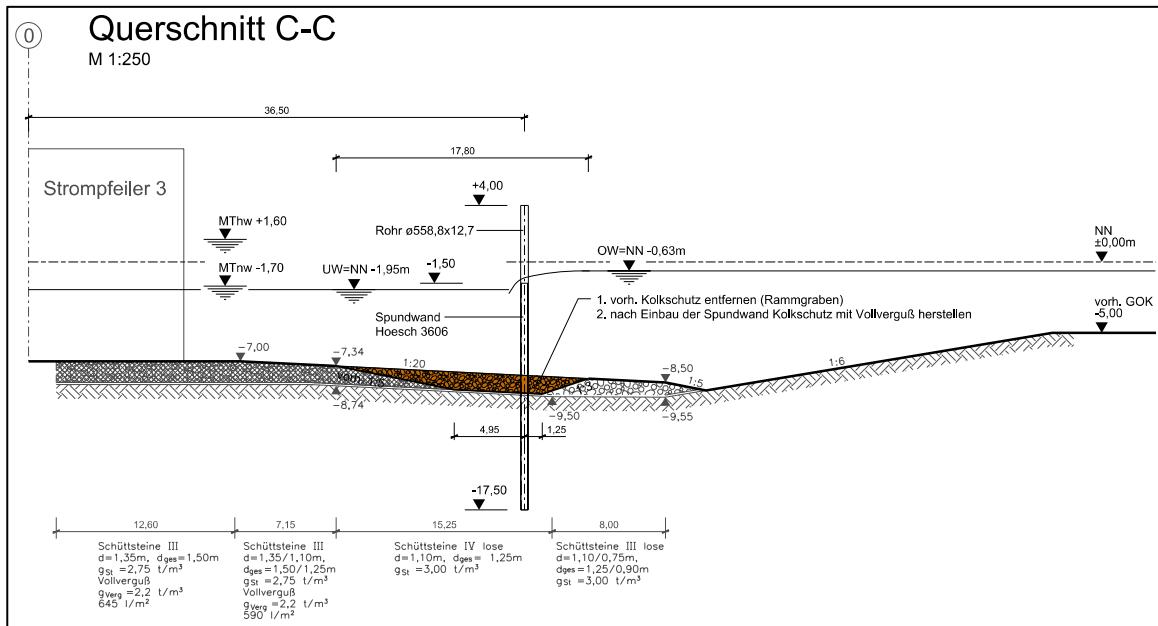


Abbildung 4-3: Querschnitt, feste Schwelle in Spundwandbauweise

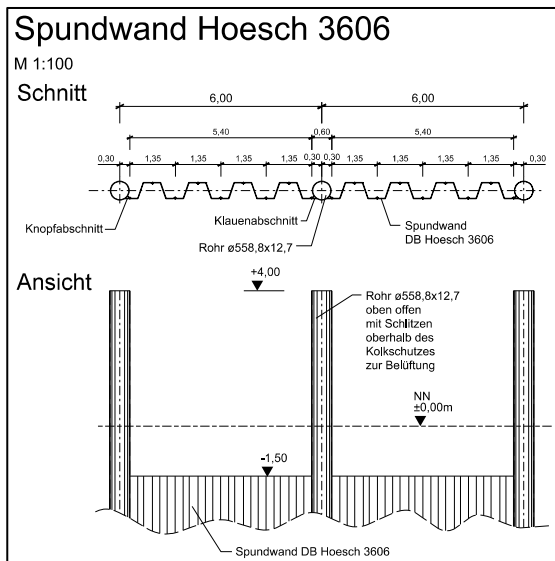


Abbildung 4-4: Ansicht, feste Schwelle in Spundwandbauweise

Das Spundwandprofil ergibt sich aus der statischen Berechnung. Bei einer Gewässersohlenhöhe von NN -7,0 m ist eine Spundwand Hoesch 3606 oder gleichwertig erforderlich. Bei der geringeren Gewässersohlenhöhe von NN -5,0 m ist eine Larssen 605 oder gleichwertig ausreichend.

Um Schwingungserscheinungen des Überfallstrahls zu vermeiden, ist eine Belüftung der Unterdruckseite vorgesehen. Diese wird durch Rohre bewirkt, die in die Spundwand eingewechselt werden und die bis zu einer Höhe von NN +4,0 m hoch geführt werden. Diese bewirken einerseits eine Strahlaufreißung, anderer-

seits werden sie mit Schlitzfenstern oberhalb des Kolkschutzes auf der Unterdruckseite ausgestattet, so dass die Luft durch die nach oben hin geöffneten Rohre zur Belüftung eintreten kann. Je nach Gewässersohlenhöhe und Spundwandtyp ergeben sich unterschiedliche Systemabstände.

Bei der Larssen 605 oder gleichwertig sind Rohre mit 548 mm Durchmesser mit 10 mm Wandstärke erforderlich, die in einem Systemabstand von 5,40 m gesetzt werden.

Bei der Spundwand Hoesch 3606 ist der gleiche Rohrdurchmesser, hier allerdings mit einer Rohrwandstärke von 12,7 mm notwendig. Der Systemabstand beträgt 6,00 m.

Der Bauablauf kann wie folgt gestaltet werden:

- Der vorhandene Kolkschutz ist bis auf das Sinkstück abzutragen.
- Die Spundwand wird eingerammt und durchrammt dabei das Sinkstück. Weil sich der Spundwandkopf zumeist unter Wasser befindet, müssen beim Rammen Sonderkonstruktionen, wie z. B. ein Verlängerungsstück, benutzt werden.
- Der Kolkschutz ist wieder einzubauen, anzugleichen und ein Teilverguss herzustellen.

Die Kosten für die feste Schwelle in Spundwandbauweise betragen

- bezogen auf eine Gewässersohlenhöhe von NN -7,0 m 8.800,- €/pro lfdm
- bezogen auf eine Gewässersohlenhöhe von NN -5,0 m 7.000,- €/pro lfdm.

#### **Teilvariante FS.4: Fester Verschlusskörper unterhalb der bestehenden Sperrwerkstore**

Diese Bauart der festen Schwelle ist in der Abbildung 4-5 im Querschnitt dargestellt. Weitere Details enthält die Zeichnung 90122-S-SW-03.

Die Grundkonstruktion dieses Verschlusskörpers ist vergleichbar zu den bestehenden Hubtoren. Aufgrund ihrer Lage in der Sperrwerkslinie unter den eigentlichen Verschlussorganen, ist eine Bemessung des Verschlusskörpers für Sturmflutkehrung, für den Staufall und für die Schwellenfunktion erforderlich.

Um die Belastung des Drempels auf ein verträgliches Maß zu reduzieren, benötigt dieser feste Verschluss Auftriebskörper. Die Horizontalkräfte aus den Wasserdrucklasten werden wie bei den vorhandenen Sperrwerkstoren über die Pfeilernischen in die Pfeiler abgetragen.



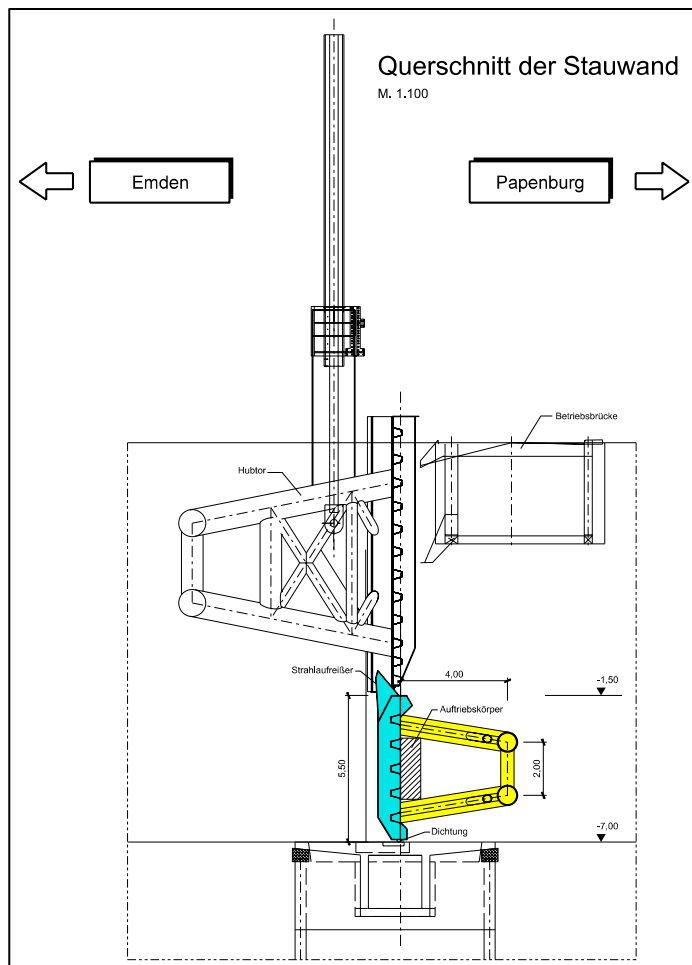


Abbildung 4-5: Querschnitt, feste Schwelle unter Sperrwerkstor

Der Bauablauf kann wie folgt gestaltet werden:

- Herstellung der Tore in den Werkstätten und Endmontage auf der Baustelle
- Ausbau der Brücken und der vorhandenen Tore mittels Schwimmkran und Zwischenlagerung auf Ponton oder dem Behelfsanleger
- neuen Verschlusskörper in die Nischen einfädeln und auf dem Drempel absetzen
- Tore und Brücke wieder einsetzen.

Die Kosten für diese Konstruktion betragen:

- bezogen auf eine Gewässersohlenhöhe von NN -7,0 m 45.000,- €pro lfdm
- bezogen auf eine Gewässersohlenhöhe von NN -5,0 m 34.000,- €pro lfdm.

#### **4.1.2 Bewertung der Teilvarianten für die feste Schwelle**

Die vorgestellten Varianten fester Schwellen weisen eine unterschiedliche technische Qualität auf, die im folgenden dargestellt ist:

##### **Schwingungsanfälligkeit**

Die vorgestellten Steinschüttdämme unterliegen keinen Schwingungen, weil aufgrund der flachen Böschungsneigung kein freier Überstrahl ausgebildet werden kann. Außerdem sind sie als massiges Bauwerk ausgesprochen unanfällig für Schwingungsanregung.

Sowohl die überströmte Spundwand wie auch das Verschlusselement im Sperrwerksquerschnitt erzeugen Überfallstrahlen, die zu Schwingungsanregung der Überfallkonstruktion führen werden. Bei der Spundwandkonstruktion wird diesem durch die eingewechselten Rohre begegnet, bei dem Verschlusskörper müsste eine Belüftung noch konstruiert bzw. auf sonstige Art und Weise ein Druckausgleich hergestellt werden.

##### **Unterhaltung**

An allen festen Schwellen fällt praktisch keine Unterhaltung an, sieht man einmal von der notwendigen Kennzeichnung für die Schifffahrt ab.

Bei den Steinschüttdämmen muss ggf. mit Setzungsschäden gerechnet werden, die in den ersten Jahren zu einem gewissen Instandsetzungsbedarf führen können.

##### **Korrosionsbeständigkeit**

Die Steinschüttdämme unterliegen keiner Korrosion. Die beiden Konstruktionen Spundwand und Verschlusskörper, die in Stahl ausgeführt sind, unterliegen einem mäßigen Korrosionsangriff. Zwar liegen die Schwellen praktisch immer unter Wasser, so dass der korrosive Angriff nur gering ist, gleichzeitig wird aber durch die Schwelle bzw. durch die Belüftung Sauerstoff zugeführt.

##### **Robustheit bei Schiffsanprall**

Die Steinschüttdämme als massige schwere Bauwerke sind sehr robust gegen Schiffsanprall. Im Vergleich dazu ist die Spundwand wesentlich empfindlicher, wenngleich die Instandsetzung vergleichsweise einfach möglich ist.

Die bei der Spundwand vorgesehenen Pfähle können auch als Kennzeichnung für die Schifffahrt herangezogen werden. Für die weitere Planung sollte geprüft werden, ob derartige Pfähle nicht auch bei den Dammbauweisen zur Schifffahrtskennzeichnung eingesetzt werden sollten.

## **Bauablauf**

Unter laufender Strömung ist der Damm aus geotextilen Containern einfacher zu errichten als der Damm mit einem Schüttsteinkern.

Die Spundwand kann unter der Strömungsbelastung gerammt werden, wobei - wie erwähnt - mit Sonderkonstruktionen zur Verlängerung der Bohlen gearbeitet werden müsste.

Für die Variante Verschlusskörper unter den derzeitigen Sperrwerksverschlüssen ist ein aufwendiger und damit kostenintensiver Bauablauf erforderlich, der sich auch in die Gesamtkosten dieser Variante niederschlägt.

## **Beeinflussung der Sperrwerksfunktion**

Alle aufgezeigten Lösungsvarianten beeinflussen die Sperrwerksfunktionen nicht. Die ggf. denkbare Verschlickung im Strömungsschatten der festen Schwellen ist für die als Schütz arbeitenden Sperrwerksverschlüsse ohne Bedeutung, da diese beim Schließen durch die Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten unter der Schützunterkante den Querschnitt selbsttätig freispülen.

## **Kosten**

Die Investitionskosten für die feste Schwelle in Dammbauweise sind deutlich niedriger als die aller anderen Varianten. Auch bei den Instandsetzungskosten schneidet der Damm vorteilhaft ab, weil er keiner Korrosion unterliegt und vergleichsweise unempfindlich gegenüber Schiffsanfahrten ist.

## **Ergebnis der Bewertung**

Für die festen Schwellen sollte, soweit technisch sinnvoll, die Dammbauweise vorzugsweise mit geotextilen Containern als Kernmaterial angewandt werden. Wenn die Platzverhältnisse dies nicht erlauben, bietet sich als nächstbeste Alternative die Spundwandbauweise an.

## **4.2 Bewegliche Schwellen**

### **4.2.1 Beschreibung der Varianten**

Gemäß den in Kapitel 3 dargestellten Vorüberlegungen werden die folgenden Teilvarianten für bewegliche Schwellen untersucht:

- Teilvariante BS.1: Drehsegmentschwelle
- Teilvariante BS.2: Klappenschwelle
- Teilvariante BS.3: Schwelle in Bauweise nach dem Obermeyer-Wehr-Prinzip
- Teilvariante BS.4: Einsatz des Kreisdrehsegmentes in der Hauptschifffahrtsöffnung des Sperrwerkes als bewegliche Schwelle

Es erfolgt zunächst die Beschreibung der vier genannten Teilvarianten und im Anschluss daran eine vergleichende Bewertung.

### Teilvariante BS.1: Drehsegmentschwelle

Ein Querschnitt durch einen vorhandenen Sperrwerksverschluss zusammen mit der zulässig anzubauenden Schwellenkonstruktion in Drehsegmentbauweise zeigt die Abbildung 4-6.

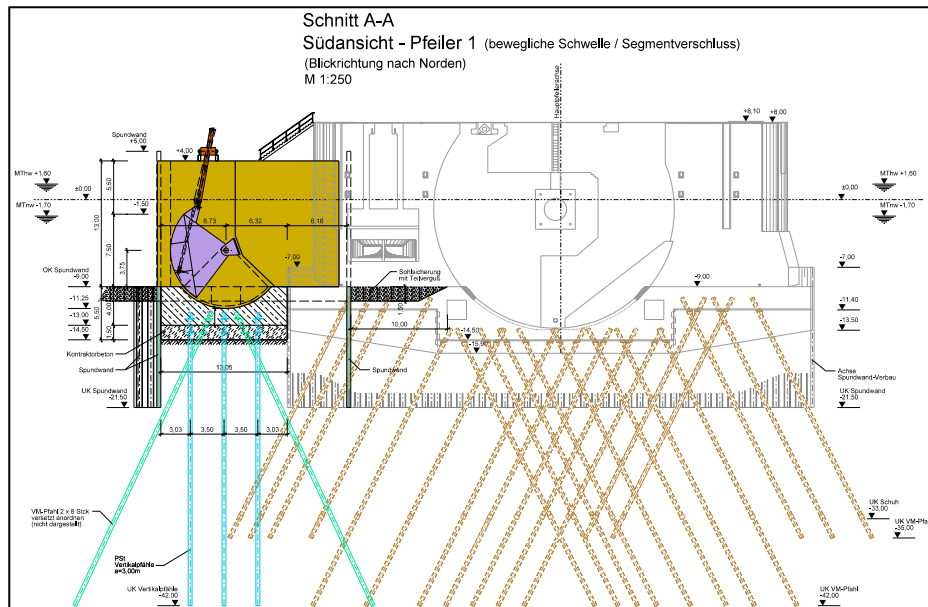


Abbildung 4-6: Querschnitt, bewegliche Schwelle in Drehsegmentbauweise

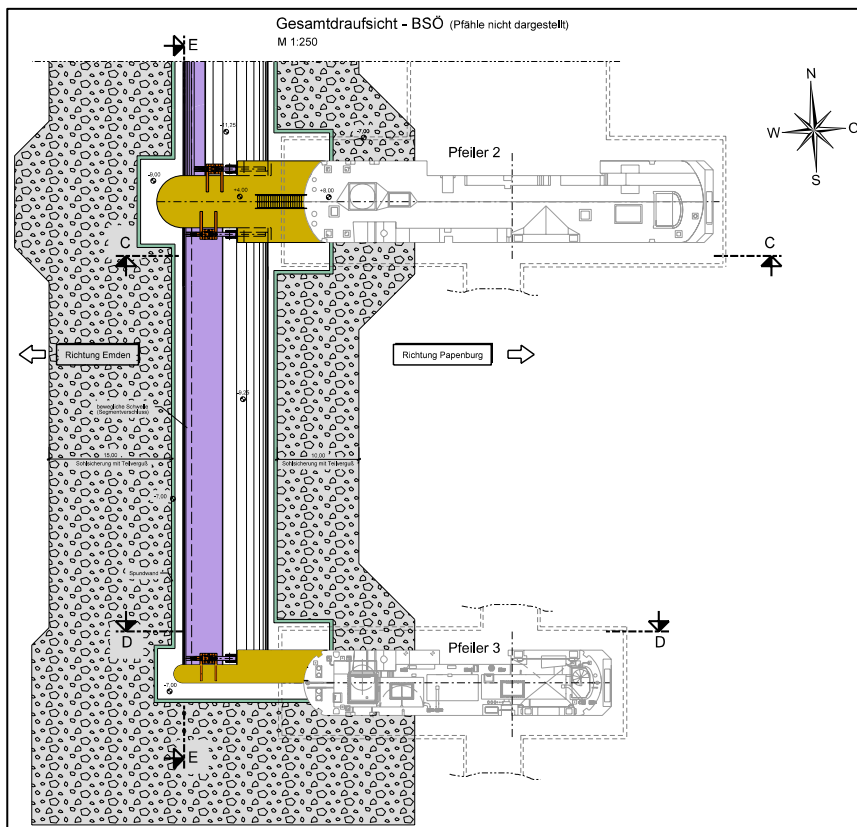


Abbildung 4-7: Grundriss, bewegliche Schwelle in Drehsegmentbauweise

Abbildung 4-7 zeigt die gleiche Situation im Grundriss. Weitere Details enthalten die Zeichnungen 90122-S-SW-01, 04 und 05.

Im aufgerichteten Zustand verschließt das Drehsegment den Querschnitt von der Drenpelhöhe NN -9,0 m bis zur Schwellenhöhe NN -1,50 m. Wird das Drehsegment in der Binnenschiffahrtsöffnung eingesetzt, so liegt die Drenpelhöhe lediglich bei NN -7,0 m. Die folgenden Beschreibungen beziehen sich auf eine Drenpelhöhe von NN -9,0 m.

Die Höhe des Segmentes beträgt rund 8,5 m. Gemäß den baustatischen Vorbemessungen weist es eine Bauteildicke von rund 2 m auf, wobei eine Krafteinleitung der Wasserdrucklasten in den Drenpel vorgesehen ist.

Das Gesamtgewicht der Stahlwasserbaukonstruktion beträgt rd. 400 t.

Die Abdichtung zum Drenpel und zu den Pfeilern kann mittels Hartdichtungen durchgeführt werden. Diese dichten zwar nicht so gut wie Weichdichtungen, eine hohe Dichtigkeit ist hier wegen der großen zur Verfügung stehenden Abflussmengen aber auch nicht erforderlich.

Die Stahlwasserbaukonstruktion ist gegen Korrosion passiv und zusätzlich durch Opferanoden zu schützen.

Das Eigengewicht des Drehsegmentes wird durch Auftriebskörper ausgeglichen, so dass relativ hohe Bewegungsgeschwindigkeiten mit verhältnismäßig geringen Antriebskräften möglich werden. Der Antrieb kann aufgrund der hohen Lasten nur durch Hydraulikzylinder erfolgen, deren Haltekraft je Seite zwischen 2.500 und 3.500 kN liegen muss. Die Bewegungskräfte werden zu rund +/- 1.500 kN abgeschätzt. Zum Schutz der Hydraulikzylinder sollten diese in Nischen im Betonkörper angeordnet werden.

Auf dem Drehsegment und in der Drenpelmulde können sich Schlick- und Rollholz ablagern. Der damit verbundenen Bewegungsbehinderung wird durch einen Zuschlag auf die Antriebskräfte begegnet. Ferner ist die Anordnung von Räumblechen möglich.

Die Drehsegmentschwelle unterliegt der Schwingungsanregung, die durch eine spezielle konstruktive Gestaltung minimiert wird.

Bei der Auslegung wird davon ausgegangen, dass das Drehsegment bei Wasserspiegeldifferenzen kleiner als 0,5 m bewegt wird. Die Auslegung der Hydraulikaggregate erfolgt so, dass der vollständige Bewegungsablauf von der Ruheposition in Schwellenposition und umgekehrt in jeweils in 10 Minuten möglich ist. Klemmkopfverriegelungen erlauben die Fixierung des Drehsegmentes in den Endpositionen, Wartungsposition und Zwischenstellung.

Für den Einbau der Drehsegmentschwelle in eine vorhandene Sperrwerksöffnung ist der folgende Bauablauf denkbar:

- Der unmittelbar an den vorhandenen Drenpel angrenzende Kolkschutz ist abzurechen und zu entfernen.
- Die Baugrube wird eingespundet und ausgesteift.
- Im Schutz der Baugrube wird ein Aushub vorgenommen und wird die Gründung eingebracht.
- Es erfolgen der Einbau einer Kontraktorbetonsohle sowie die Trockenlegung der Baugrube.
- Zunächst werden für Drenpel und Pfeiler die Erstbetonarbeiten durchgeführt, dann werden die Dichtungsanschlüsse und Einbauteile montiert und der Zweitbeton hergestellt.
- Abschließend erfolgt die Montage der Drehsegmentschwelle, wobei für die spätere Unterwasserdemontage und –montage, die aus Wartungsgründen notwendig ist, spezielle Führungen vorgesehen werden.
- Abschließend wird die Baugrube geflutet und die Spundwände werden abgetrennt.

Für diese Bauweise ist eine Sperrzeit des entsprechenden Sperrwerksquerschnittes von 9 Monaten erforderlich. In der weiteren Planung ist zu prüfen, ob eine solche Sperrzeit mit den Belangen der Werftschiffüberführungen kompatibel ist.

Lösungsmöglichkeiten zur Reduzierung der Sperrzeit bestehen in dem Einsatz von Sonderbauweisen, wodurch voraussichtlich höhere Kosten entstünden. Andererseits könnte der Nachbarverschluss die Binnenschifffahrtsöffnung durch Ausbau des Sperrwerkstores und der Brücke für Überführungen hergerichtet werden, sofern die Drempttiefe von NN -7,0 m hierfür ausreichend ist.

Die regelmäßigen Wartungsarbeiten sind auf die Antriebe beschränkt. Zur Grundinstandsetzung der Schwelle und der Erneuerung des Anstriches ist ein Unterwasserausbau mittels Schwimmkran zweckmäßig.

Die Kosten für die bewegliche Schwelle in Drehsegmentbauweise betragen:

- bezogen auf die Hauptschifffahrtsöffnung mit 60 m Breite und 9 m Drempttiefe 250.000,- €pro lfdm und
- bezogen auf die Binnenschifffahrtsöffnung mit 50 m Breite und 7 m Drempttiefe 265.000,- €pro lfdm.

In dem genannten Preis pro lfdm sind sämtliche Kosten einschließlich der Pfeiler eingerechnet. Die Pfeilerkosten bestimmen maßgeblich den Gesamtpreis einer beweglichen Schwelle. Sie unterscheiden sich aber bei den beiden genannten Verschlüssen nicht signifikant. Aufgrund der geringeren Öffnungsbreite der Binnenschifffahrtsöffnung liegen deswegen die Kosten pro lfdm, in denen die Pfeilerkosten eingerechnet sind, geringfügig höher als bei der Hauptschifffahrtsöffnung, obwohl der Verschluss in der Binnenschifffahrtsöffnung eine geringere Höhe aufweist.

### **Teilvariante BS.2: Bewegliche Schwelle in Klappenbauweise**

In ähnlicher Form wie bei dem Drehsegment, kann die bewegliche Schwelle auch als Klappe konstruiert werden. Abbildung 4-8 zeigt einen Querschnitt der Anordnung dieser Klappe in der Hauptschifffahrtsöffnung des Sperrwerkes.

Abbildung 4-9 zeigt den dazugehörigen Grundriss. Weitere Details enthalten die Zeichnungen 90122-S-SW-01, 04 und 05.

Im aufgerichteten Zustand verschließt die Klappe den Querschnitt von NN – 9 m (bei der Binnenschifffahrtsöffnung NN -7,0 m) bis NN -1,50 m. Die Höhe der Klappe, also des Stahlbauteils beträgt etwa 9 m, die Bauteildicke liegt bei rund 1,0 m. Diese geringe Bauteildicke ist nur deswegen möglich, weil eine Krafteinleitung der Wasserdrucklasten über Scharniere in den Drempel vorgesehen ist. Der Lagerabstand beträgt rund 9 m. Damit hat die Stahlwasserbaukonstruktion ein Gewicht von rund 250 t.

Ähnlich wie beim Drehsegment kann die Abdichtung zum Dremmel und zu den Pfeilern mittels Hartdichtungen hergestellt werden. Auch der Korrosionsschutz erfolgt in gleicher Weise mittels Opferanoden.

Wegen der großen Kräfte ist auch hier der Antrieb nur durch Hydraulikzylinder möglich. Die Haltekraft je Seite liegt zwischen 4.500 und 6.000 kN . Die Bewegungskräfte haben eine Größenordnung von +/- 1.500 kN . Zum Schutz der Hydraulikzylinder werden diese in Nischen in den Massivbau der Pfeiler angeordnet.

Schlick und Rollholz kann sich in der Dremmelmulde unterhalb der Klappe ablagern. Einerseits können die Bewegungsbehinderungen durch einen Zuschlag auf die Antriebskräfte berücksichtigt werden, andererseits wird zur Freihaltung der Dremmelmulde die Anordnung von Spüleinrichtungen erforderlich sein.

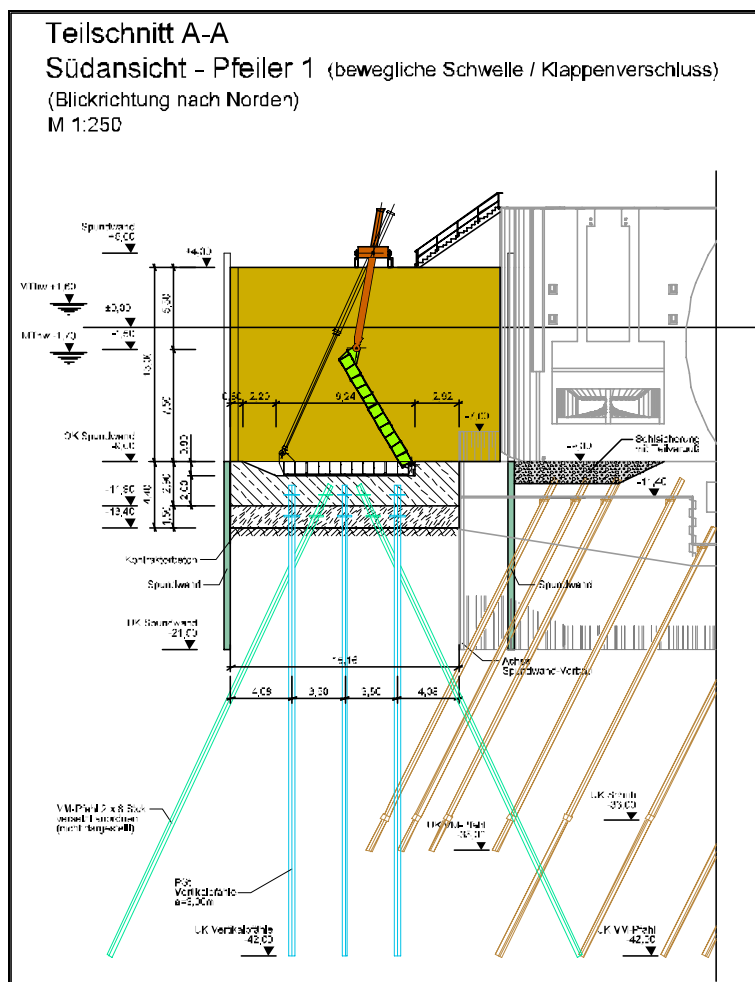


Abbildung 4-8: Querschnitt, bewegliche Schwelle in Klappenbauweise



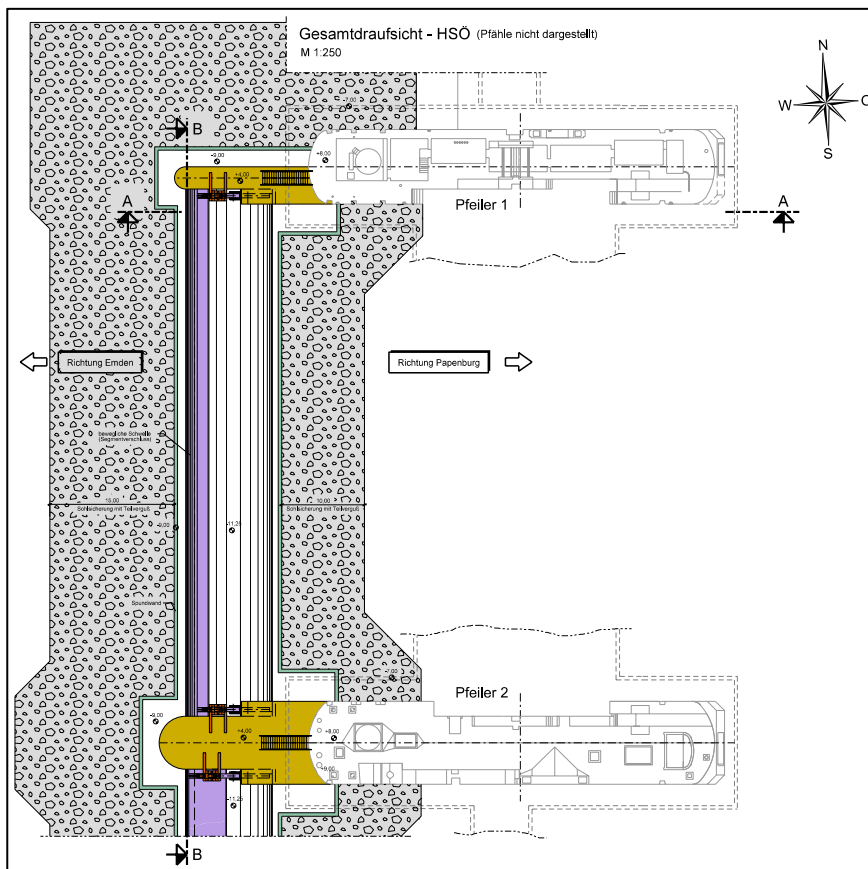


Abbildung 4-9: Grundriss, bewegliche Schwelle in Klappenbauweise

Die Schwingungsanregung der Klappe kann durch Strahlaufreißer reduziert werden. Wegen der teilweise hohen Überfallhöhen können aber auch planmäßig Undichtigkeiten an der Unterseite der Klappe dazu beitragen, dass schädliche Unterdruckentwicklungen vermieden werden.

Die Antriebsaggregate sind so ausgelegt, dass die Bewegung der Klappe bei Wasserstandsdifferenzen kleiner als 0,5 m erfolgt und die Klappe in etwa 10 Minuten aus der Ruhestellung in die Schwellenstellung und umgekehrt bewegt werden soll. Klemmenkopfverriegelungen ermöglichen auch hier die Fixierung in Endposition und Wartungsposition und Zwischenstellungen.

Der Bauablauf ist identisch zu dem der Drehsegmentschwelle. Auf eine Beschreibung wird deswegen hier verzichtet. Auch die Unterhaltungsarbeiten können vergleichbar durchgeführt werden. Im Unterschied zur Drehsegmentschwelle ist aber ein Tauchereinsatz zum Lösen der Scharnierlager am Drempel notwendig.

Die Kosten betragen:

- bezogen auf die Hauptschifffahrtsöffnung in einer Breite von 60 m und einer Drempelhöhe von NN -9,0 m 195.000,- €pro lfdm und
- bezogen auf die Binnenschifffahrtsöffnung in einer Breite von 50 m und einer Drempelhöhe von NN -7;0 m 208.000,- €pro lfdm.

Zur Begründung, warum das kleinere Bauteil einen höheren Preis pro laufenden Meter als das größere Bauteil hat, wird auf die Ausführungen zu den Kosten des Drehsegmentes im vorangegangenen Abschnitt verwiesen.

### Teilvariante BS.3: Bewegliche Schwelle in Form eines Obermeyer-Wehrs

Die Konstruktion des Obermeyer-Wehrs und seine Anordnung in einem Hubtorquerschnitt des Sperrwerkes ist in Abbildung 4-10 dargestellt.

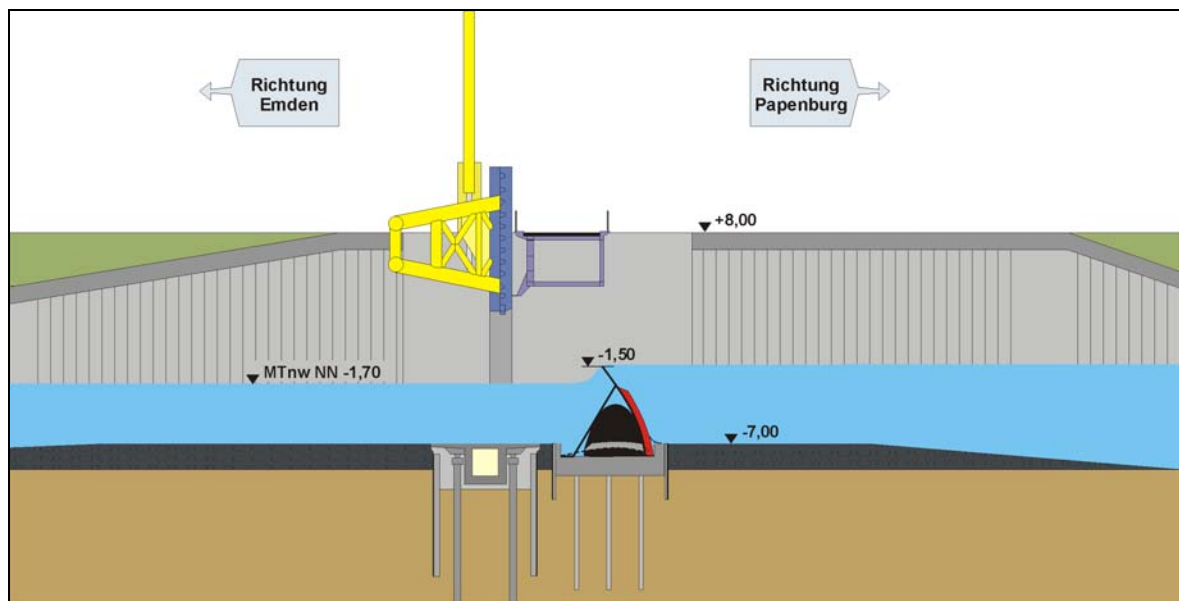


Abbildung 4-10: Querschnitt durch einen Hubtorverschluss des Sperrwerkes mit eingesetztem Obermeyer-Wehr

Das Obermeyer-Wehr besteht aus einer Kombination von Schlauchwehr, Stahlstauhaut und Zugbändern. Der Schlauchkörper stützt die Stahlstauhaut, wodurch im Vergleich zum reinen Schlauchwehr eine definierte auch höhere Schwellenhöhe erreicht werden kann.

Die Bewegung des Wehres erfolgt durch Zupumpen und Ablassen von Luft oder Wasser.

Insgesamt ist die Konstruktion ausgesprochen schwingungsanfällig, weil der Schlauchkörper elastische Bewegungen der Stauhaut ermöglicht.

Das Obermeyer-Wehr ist für den Einsatz als bewegliche Schwelle ungeeignet weil:

- die Bewegungsgeschwindigkeiten, die durch das Zupumpen und Ablassen von Wasser oder Luft realisiert werden können, wesentlich zu niedrig sind, um ein Aufstellen und Legen innerhalb von 10 bis 15 Minuten zu ermöglichen; Schlauchwehre werden typischerweise in Situationen eingesetzt, in denen die Wehrhöhe regelmäßig nur geringfügig verändert werden braucht und ein vollständiges Legen des Wehres nur selten erforderlich ist,
- die Art der Konstruktion das Ablagern von Geschiebe und Schlick bewirkt, wodurch die Bewegung behindert wird,
- der Wartungsaufwand dieser Wehrkonstruktion hoch ist, weil nur in einer trockenen Grube gearbeitet werden kann, weswegen ein zusätzliches aufwendiges Dammbalkensystem vorgesehen werden muss.

#### Teilvariante BS.4: Einsatz des Kreisdrehsegmentes der Hauptschifffahrtsöffnung als bewegliche Schwelle

Abbildung 4-10 zeigt den Querschnitt der Hauptschifffahrtsöffnung mit dem Kreisdrehsegment in Schwellenstellung und einer Höhe der Verschlussoberkante von NN -1,50 m.

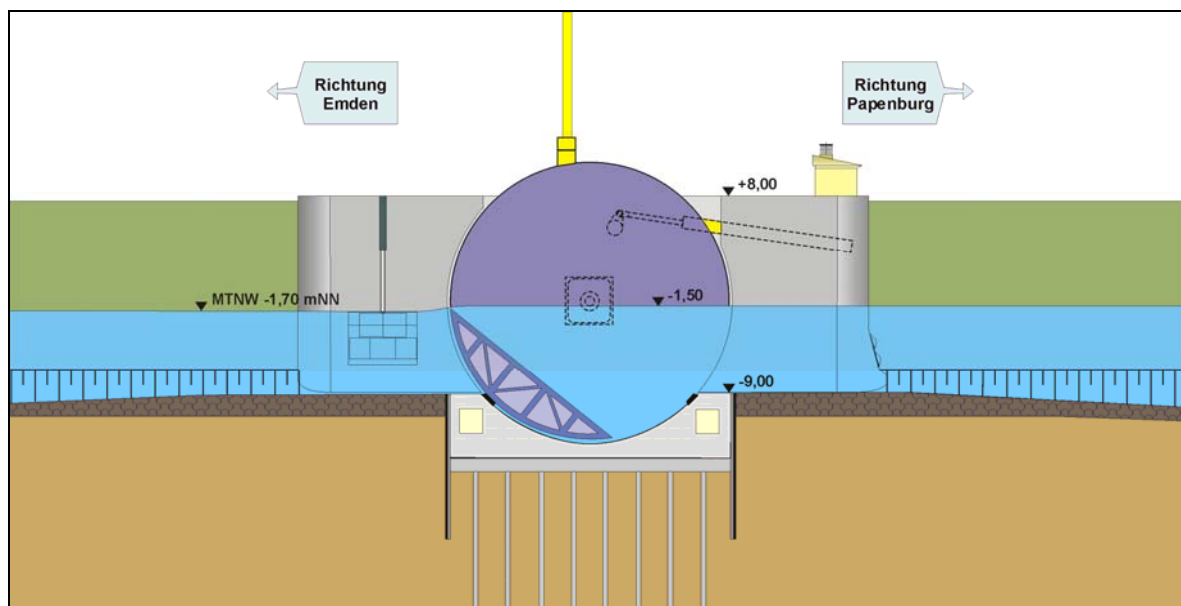


Abbildung 4-11: Querschnitt durch das Kreisdrehsegment in Schwellenstellung

Bisher sind für den Kreisdrehsegmentverschluss in der Hauptschifffahrtsöffnung des Emssperrwerkes drei Stellungen vorgesehen:

- Die Offenstellung, der Verschlusskörper ruht in der Drempelmulde mit einer Oberkante des Verschlusses von NN -9,0 m.

- Die Staustellung, die Oberkante des Drehsegmentes, wird auf NN +2,70 m angehoben. Die Drehrichtung und damit die Lage des Stauschildes entspricht der Darstellung in Abbildung 4-11.
- Die Sturmflutschutzstellung, bei der die Oberkante des Kreisdrehsegmentes auf NN +7,0 m angehoben wird.

Für die Schwellenfunktion ist eine neue Stellung erforderlich, bei der die Höhe der Oberkante auf NN -1,50 m gelegt wird. In diesem Falle würde der Verschluss im Wesentlichen überströmt und zu geringem Anteil auch unterströmt werden. Um die Unterströmung zu minimieren, ist eine zusätzliche Dichtleiste erforderlich. Diese sollte aus einem härteren Material, z. B. Polyethylen bestehen, um das Beschädigungspotenzial durch Fremdkörper zu reduzieren.

Eine neue Verriegelung ist nicht erforderlich, da auch bisher nur Verriegelungen in der 0°- und in der 180°-Stellung vorgesehen sind und der Verschluss in den anderen Stellungen durch die Hydraulikzylinder gehalten wird.

Die Bewegungshäufigkeit des Verschlusses würde von derzeit 10 Zyklen pro Jahr auf 730 Zyklen pro Jahr erhöht werden (etwa 2 x täglich an 365 Tagen im Jahr). Diese Bewegungshäufigkeit ist aus stahlwasserbaulicher Sicht unproblematisch. Beispielsweise werden die Dichtungen an Binnenschiffsschleusen rund 5000 Zyklen pro Jahr ausgesetzt. Auch die hydraulischen Antriebe und insbesondere die Hydraulikzylinder profitieren von einer häufigeren Bewegung, weil dadurch die Schmierung der Zylinder verbessert wird.

Für den Einsatz des Kreisdrehsegmentes als bewegliche Schwelle ist eine Erhöhung der Bewegungsgeschwindigkeiten sinnvoll. Die derzeitige Antriebsleistung der Hydraulik ermöglicht eine Bewegung von der Ruhestellung in die Schwellenstellung und umgekehrt in 14 Minuten für das Aufrichten und 19 Minuten für das Absenken. Durch Leistungserhöhung der Hydraulikaggregate und Vergrößerung der Rohrquerschnitte der Hydraulikleitungen lässt sich die Zeit für das Aufrichten auf 10 Minuten und für das Absenken auf 15 Minuten verkürzen.

Die Überströmung in Schwellenstellung wird zu einer Schwingungsanregung des Verschlusses führen. Es ist der Einbau einer Belüftung in das Kreisdrehsegment erforderlich, die beispielsweise über die Kreisscheiben erfolgen könnte oder aber, ähnlich wie bei der Klappe, könnte ein Druckausgleich vom Oberwasser zum Unterwasser angeordnet werden, um die Entwicklung von Unterdruck zwischen Überfallstrahl und Verschluss zu vermeiden.

Der Umbau des Kreisdrehsegmentes kann in den folgenden Schritten erfolgen:

- Die Hauptschifffahrtsöffnung ist zu sperren und der Verschluss wird in Wartstellung gedreht.

- Danach werden die Dichtungsanschlüsse umgebaut bzw. es werden zusätzliche Dichtungen eingebaut.
- Gleichzeitig können die Hydraulikanlagen und die Verrohrung umgebaut werden. Die erforderliche Sperrzeit der Hauptschifffahrtsöffnung für diese Arbeiten wird mit ca. 3 – 4 Monaten angesetzt. Auch hier wäre zu prüfen, ob diese Sperrzeit mit den Belangen der Werftschiffüberführungen kompatibel ist.
- Bezüglich der Wartung ergibt sich keine Änderung zum heutigen Zustand.

Die Kosten betragen bezogen auf die Öffnungsbreite der Hauptschifffahrtsöffnung 48.000,- €/pro lfdm.

#### **4.2.2 Bewertung der beweglichen Verschlüsse**

##### **Ausschlüsse**

Das Obermeyer-Wehr ist eindeutig ungeeignet, die Anforderungen zu erfüllen und wird deswegen von der weiteren Bewertung ausgeschlossen. Alle übrigen Teilvarianten sind grundsätzlich machbar und werden deswegen vergleichend bewertet.

Für die Bewertung der drei Varianten können folgende Kriterien herangezogen werden:

- \* Lastabtragung, Belastungsniveau der Hydraulik,
- \* Schwingungsempfindlichkeit der Konstruktion,
- \* Robustheit der Konstruktion gegen Sedimenteintrag und Rollholz,
- \* Unterhaltungsaufwand,
- \* Beeinflussung der bestehenden Sperrwerksfunktionen und
- \* Kosten.

##### **Lastabtragung, Belastungsniveau der Hydraulik**

Bei dem Drehsegment erfolgt eine effiziente Lastabtragung über den Dremmel, und über seitliche Stützarme die eine schlanke Dimensionierung des Bauteils ermöglicht. Im Vergleich zu den anderen Varianten ist das Belastungsniveau der Hydraulik vergleichsweise klein.

Auch bei der Klappe ist die Lastübertragung über den Dremmel sehr effizient, was zu minimalen Bauteilabmessungen führt. Konstruktionsbedingt liegt das Belastungsniveau der Hydraulik höher als bei dem Drehsegment.

Für das Kreisdrehsegment sind die Lastabtragung und das Bauteil bereits vorhanden. Im Unterschied zu den beiden anderen Verschlüssen liegt hier der Antriebsaufwand relativ hoch, weil die zu bewegenden Massen größer sind.

### **Schwingungsempfindlichkeit der Konstruktion**

Beim Drehsegment ist die Schwingungsanregung gering, außerdem kann der Anregung durch konstruktive Maßnahmen begegnet werden. Auch bei der Klappe ist eine Schwingungsanregung vorhanden, die jedoch durch einfache Maßnahmen beherrschbar wird. Die ebenfalls beim Kreisdrehsegment der Hauptschifffahrtsöffnung vorhandene Schwingungsanregung erfordert bauliche Maßnahmen zur Belüftung.

### **Robustheit gegen Sedimenteintrag und Rollholz**

Das Drehsegment ist ausgesprochen robust gegenüber diesen Belastungen, weil bedingt durch die Konstruktion eine Räumung der Drenpelmulde gegeben ist. Im Vergleich dazu ist die Klappe weniger robust, weil sie die Drenpelmulde nicht eigenständig freihalten kann, so dass hier zusätzliche Spüleinrichtungen erforderlich sind. Diese erfordern zusätzlichen baulichen wie auch zusätzlichen Unterhaltungsaufwand.

Das Kreisdrehsegment der Hauptschifffahrtsöffnung ist bezüglich dieses Kriteriums ähnlich robust wie das Drehsegment. Auch hier ist eine eigenständige Räumfunktion der Drenpelmulde gegeben.

### **Wartungsaufwand**

Die regelmäßige Wartung der Antriebe und der technischen Ausrüstung ist für alle drei Varianten gleich zu beurteilen. Für die Inspektion des Verschlusses und für die Erneuerung der Korrosionsschutzes liegt der Aufwand für den Ausbau der Klappe und den Ausbau des Drehsegmentes etwas höher als bei dem des Kreisdrehsegmentes in der Hauptschifffahrtsöffnung, da hier diese Arbeiten durch das Drehen des Verschlusses „Hochstellung“ einfach möglich sind.

### **Beeinflussung bestehender Sperrwerksfunktionen**

Bei dem Drehsegment und der Klappe bestehen keine Beeinflussungen, weil diese Verschlüsse zusätzlich zu dem bestehenden Sperrwerksverschluss gebaut werden.

Die Situation ist beim vorhandenen Kreisdrehsegment der Hauptschifffahrtsöffnung völlig anders. Hier ist eine Beeinflussung vorhanden, die wie folgt ausgedrückt werden kann:

In den Phasen, in denen das Kreisdrehsegment die Schwellenfunktion übernimmt, könnte eine Schiffsanfahrung und damit einhergehend eine Beschädigung an dem Verschluss eintreten. Ist dieses dann nicht mehr bewegbar, wäre ein Sturmflutschutz nicht mehr gegeben oder auch ein geplanter Staufall nicht mehr durchführbar.

## Kosten

Die Basis der im Folgenden genannten Vergleichskosten ist der Bau des Verschlusses in der Hauptschifffahrtsöffnung. Es werden die Gesamtkosten für den Stahl- und den Massivbau genannt.

Kosten betragen für die Varianten:

- Drehsegment: 15 Mio. €
- Klappe: 12 Mio. €
- Kreisdrehsegment der  
Hauptschifffahrtsöffnung: 3 Mio. €

## Zusammenfassung der Bewertung der beweglichen Schwellenverschlüsse

Als Sonderfall einer beweglichen Schwelle ist zunächst der Einsatz des Kreisdrehsegmentes in der Hauptschifffahrtsöffnung zu betrachten:

Der Umbau des Kreisdrehsegmentes erzeugt die geringsten Investitionskosten für eine bewegliche Schwelle. Auch fallen keine zusätzlichen Wartungskosten im Vergleich zum Istzustand an. Es ist aber zu erwarten, dass die – wenn auch geringe – Wahrscheinlichkeit einer Havarie durch Schiffsanfahrt zu einem erheblichen Planungswiderstand bei der Realisierung dieser Variante führen würde. Diese preisgünstigste Lösung ist deswegen voraussichtlich nicht akzeptabel und wird bei der Zusammenstellung der Gesamtvarianten nicht berücksichtigt.

Die beiden anderen Alternativen Drehsegment und Klappe als bewegliche Schwelle sind in allen Durchlassöffnungen einsetzbar. Die Klappe ist im Vergleich zum Drehsegment mit etwas geringeren Investitionskosten verbunden. Sie erfordert aber Zusatzaufwand für die Spüleinrichtung und muss deswegen als weniger robust eingeschätzt werden. In Anbetracht der vergleichsweise geringen Investitionskostendifferenz sind daher die technischen Vorteile des Drehsegmentes ausschlaggebend. Deswegen wird dieser Verschluss als Vorzugsvariante bei der Zusammenstellung der Gesamtvarianten berücksichtigt.

## 4.3 Schleusentorsysteme und Befüllleinrichtungen

### 4.3.1 Beschreibung der Teilvarianten

Gemäß den Vorüberlegungen (siehe Kapitel 3) werden die folgenden Torarten für die zu planende Schleuse näher betrachtet:

- Teilvariante ST-1: Drehsegment
- Teilvariante ST-2: Sektortor
- Teilvariante ST-3: Stemmtor
- Teilvariante ST-4: Schiebetor.

Im Folgenden werden die Teilvarianten zunächst einmal vorgestellt und beschrieben. Im Anschluss daran erfolgt eine vergleichende Bewertung.

### Teilvariante ST-1: Drehsegment

Die grundsätzlichen konstruktiven Merkmale des Drehsegmentes für den Einsatz beim Schleusentor zeigt die Abbildung 4-12. Weitere Details enthalten die Zeichnungen im Anhang Stahlwasserbau.

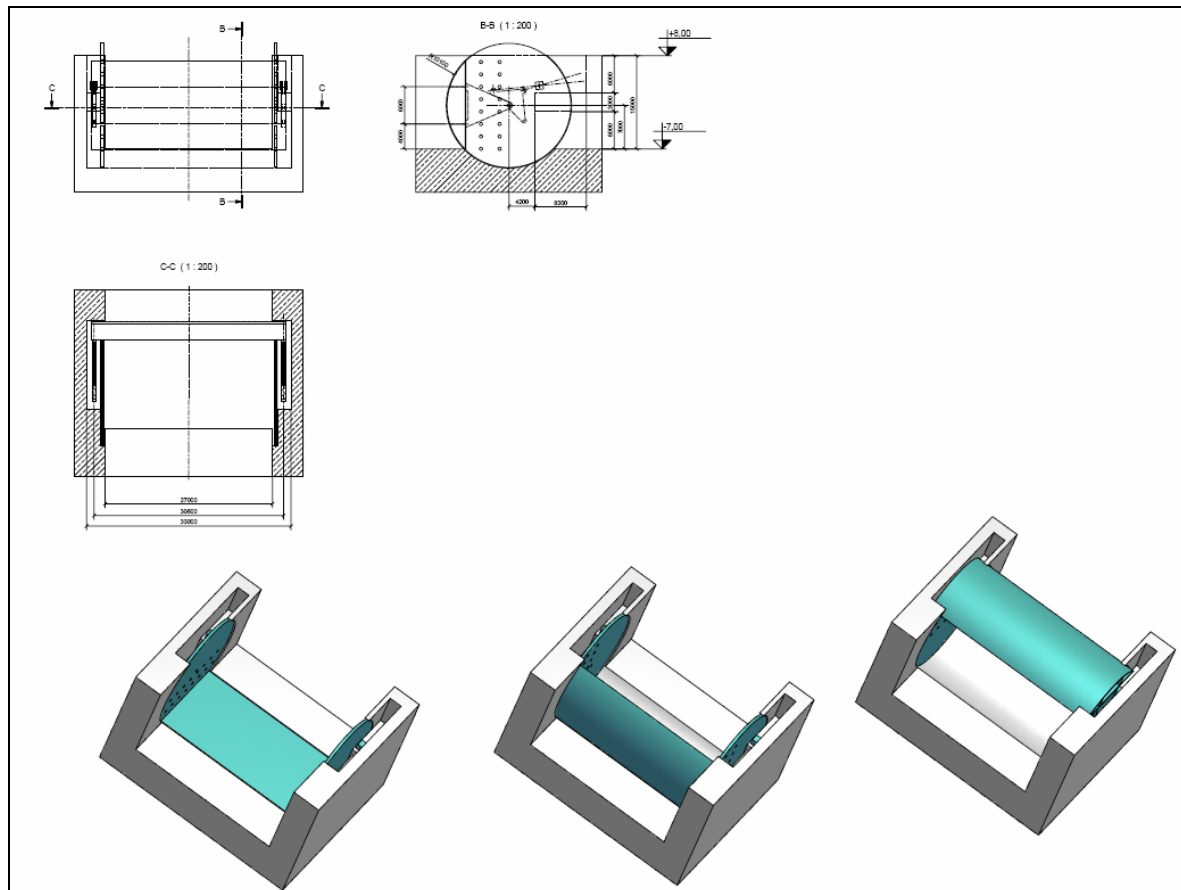


Abbildung 4-12: Darstellung des Drehsegmentes als Schleusentorverschlussystems

Das Drehsegment ist vergleichbar zu dem als beweglichen Schwellenverschluss vorgestellten Drehsegment. Es dreht in geöffneter Position in die Drempe mulde und bildet damit einen höhengleichen Abschluss mit dem Schleusenboden. Aufgrund dieser konstruktiven Merkmale ist es in der Lage, Schlick und Rollholz selbsttätig zu räumen.

Das Drehsegment besteht aus einem Staukörper mit Auftriebszellen und beidseitigen Antriebs scheiben. Der Antrieb erfolgt durch Hydraulikzylinder.

Das Befüllen und Entleeren der Schleusenkammer sollte in dem hier vorliegenden Fall durch Absenken der Oberkante des Verschlusses und der sich



daraus ausbildenden Überfallströmung bewirkt werden. Ggf. sind für diese Strömungssituation Strahlaufreißer für die Verbesserung der Belüftung notwendig. Damit entspricht die Befüllbreite der Verschlussbreite. Der Verschluss eignet sich sehr gut für geringe Wasserspiegeldifferenzen, weil er mit zunehmend geringer Wasserspiegeldifferenz weiter in die Offenposition gefahren werden kann. Einzige Begrenzung für die Befüllungsgeschwindigkeit bilden die zulässigen Trossenkräfte für die Schifffahrt. Bei einer Füllöffnungshöhe von rund 1 m liegt die Befüllungs- und Entleerungszeit bei der Schleusenkommer bei rund 6 Minuten.

Ein in Binnenschifffahrtsschleusen übliches Befüllen und Entleeren über die Unterseite des Verschlusses mittels sog. Füllmuscheln ist für diesen Fall hier weniger geeignet, weil sich in dieser Muschel Sediment- und Rollholz ablagern und ggf. die Bewegung des Verschlusses behindern können.

Das Drehsegment kann nicht zusätzlich mit einer Brücke ausgestattet werden, die die Überquerung der Schleusenkommer ermöglicht. Zur Überquerung der Schleusenkommer kann in den Schleusenhäuptern ein Fußweg mit Treppenanlagen in den Pfeilerbauwerken angeordnet werden.

Die Wartung des Schleusentores kann durch Trockenlegen des Schleusenhauptes mittels Dammbalken erfolgen. Damit werden sämtliche Wartungsarbeiten an den Toren im Trockenem ausführbar. Die Wartung der Antriebe selbst kann jedoch ohne Trockenlegen erfolgen.

Die Kosten für dieses Schleusentorsystem betragen bei einer 27 m breiten Schleuse 11,2 Mio. € netto. Dieser Betrag umfasst den Stahlwasserbau und die technische Ausrüstung der Drehsegmenttore am Außenhaupt der Schleuse und am Binnenhaupt der Schleuse. Das Schleusentor am Außenhaupt wird dabei für Sturmflutkehrung ausgelegt.

### **Teilvariante ST.2: Sektortor**

Abbildung 4-13 skizziert das Sektortor in Ansichten, im Grundriss und in isometrischen Darstellungen. Details sind auch in den Zeichnungen der Anlage Stahlwasserbau aufgeführt.

Bei dem Sektortor handelt es sich um einen um eine vertikale Achse drehenden im Grundriss sektorförmigen Torflügel. Die Stauwand des Tores ist mit Längs- und Querträgern ausgesteift und enthält Auftriebskammern, die die erforderlichen Antriebsleistungen zur Bewegung der Tore reduzieren.

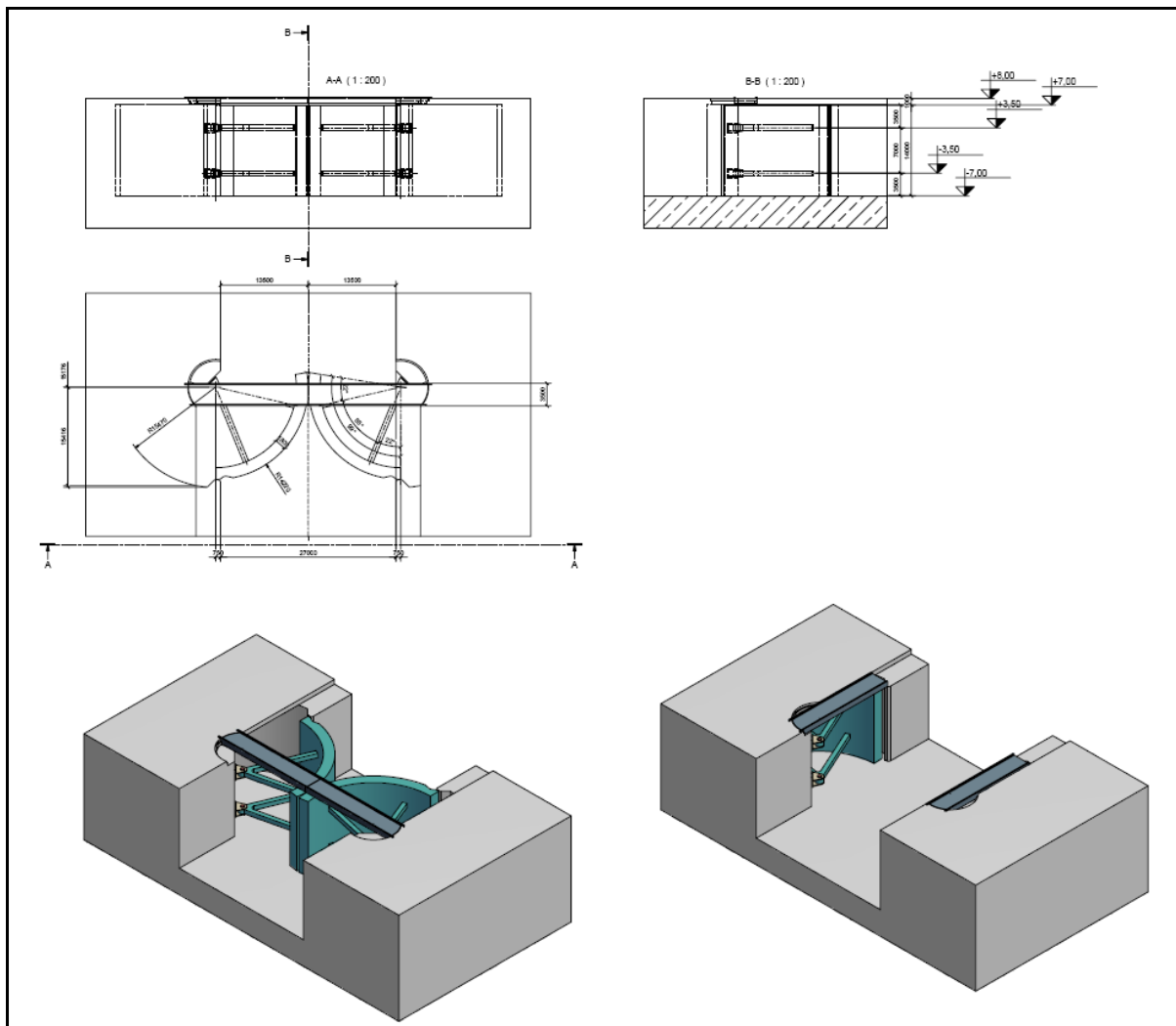


Abbildung 4-13: Darstellung des Sektortores als Schleusentorverschlussystems

Das Befüllen und Entleeren der Schleuse erfolgt über Füllmuscheln in den Torkammern. Dadurch ist ein vergleichsweise ruhiges Befüllen der Torkammer möglich. Allerdings sind die konstruktiven Möglichkeiten für die Größe des Einfüllquerschnittes beschränkt. Die voraussichtliche Befüllungs- und Entleerungszeit bei einer Wasserspiegeldifferenz von 1 m beträgt rund 8 Minuten.

Die Befüllmuschel sollte 2 m über dem Drennpel enden, um den Eintrag von Sediment und Rollholz zu minimieren. Insgesamt ist die Konstruktion unempfindlich in Bezug auf Sediment und Rollholz, weil einerseits die Füllmuscheln gespült werden und andererseits die Torkammern bei der Bewegung der Tore automatisch geräumt werden können.

In die Schleusentorkonstruktion kann eine leistungsfähige Brücke integriert werden.

Die großen Torkammern erfordern genügend Raum seitlich der Schleuse, deswegen hängt ihre Einsetzbarkeit auch von den Platzverhältnissen auf beiden Seiten der Schleusenkammer ab.

Die Wartungsarbeiten können in der gleichen Art und Weise wie bei dem Drehsegmenttor durchgeführt werden.

Die Kosten der Schleusentore betragen bezogen auf eine 27 m breite Schleuse rund 11,7 Mio. € netto. Dies bezieht sich auf den Stahlwasserbau einschließlich der technischen Ausrüstung und umfasst die Schleusentore für das sturmflutkehrende Außenhaupt und das Binnenhaupt.

### **Teilvariante ST.3: Stemmtor**

Der Stemmtorverschluss ist in Ansichten, Grundriss und isometrischen Darstellungen in Abbildung 4-14 dargestellt. Weitere Details enthalten die Zeichnungen in der Anlage Stahlwasserbau.

Das Stemmtor ist der „klassische“ Schleusentorverschluss, der eine Kehrung von Wasserstandsunterschieden nur in eine Richtung ermöglicht. Weil aber die Wasserspiegelunterschiede bei Flutstrom geringer als 0,5 m sind, kann auf ein zusätzliches Tor mit Kehrung gegen Wasserdruck nach unterstrom verzichtet werden. Diese geringe Belastung aus Wasserdruck kann durch eine Feststellung bzw. Verriegelung der Hydraulikzylinder aufgenommen werden. Aufgrund der Schwellenfunktion sind also keine doppelt kehrenden Stemmtorpaare erforderlich. Allerdings ist für Schleusen im Sperrwerksquerschnitt der Sturmflutkehrungsfall zu beachten.

Stemmtore werden in Falterwerks- oder Riegelbauweise hergestellt. Die Unterschiede sind im gegenwärtigen Planungsstand unbedeutend.

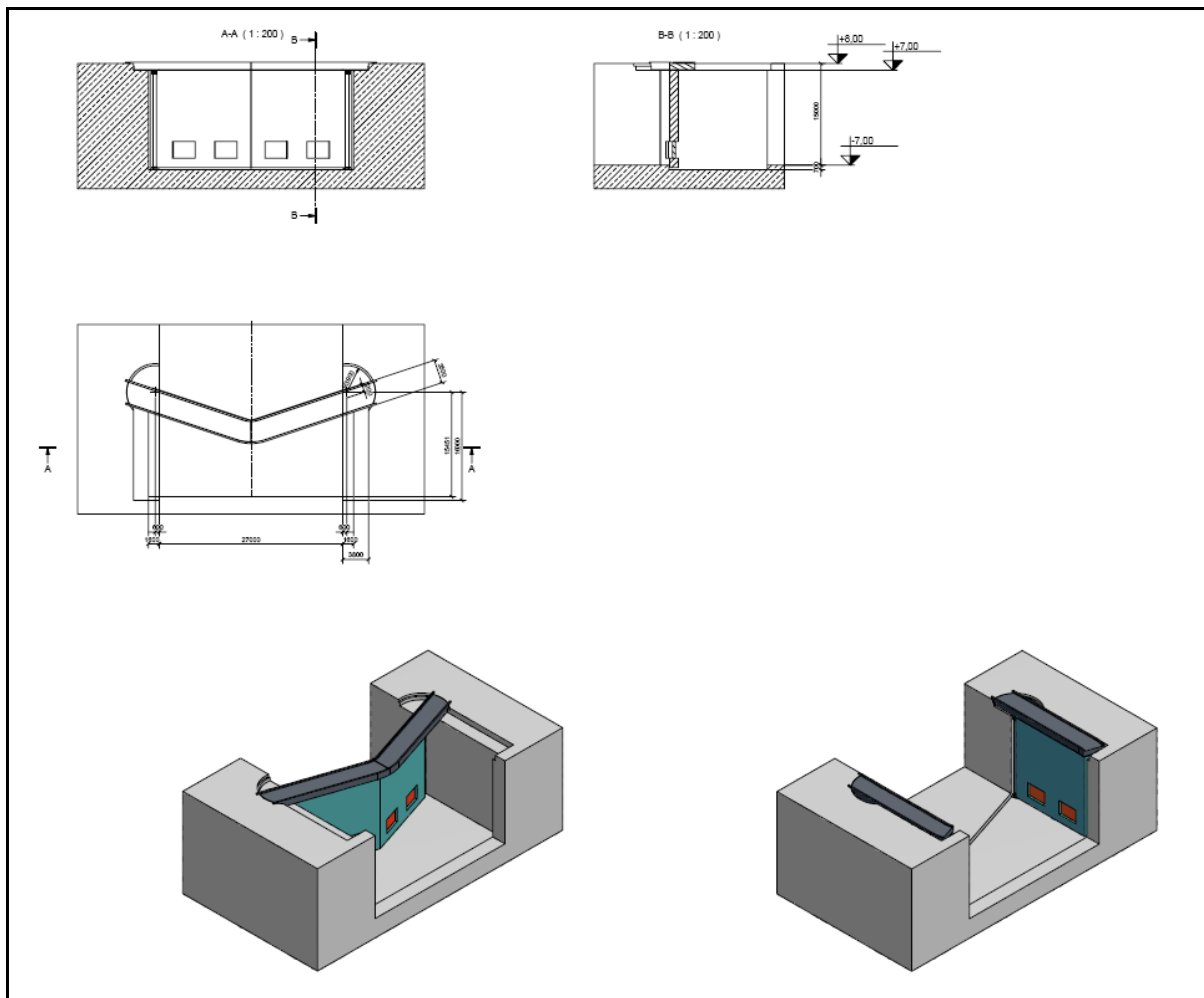


Abbildung 4-14: Darstellung des Stemmtores als Schleusentorverschlussystems

Das Befüllen und Entleeren der Schleuse geschieht durch Schütze in den Torflügeln. Sieht man für jedes Stemmtor zwei Schütze mit einem Durchflussquerschnitt von 4x2 m vor, so beträgt die zu erwartende Füllzeit bei 1 m Wasserspiegeldifferenz rund 3 Minuten. Ab 30 cm Wasserspiegelunterschied können auch die Tore zur Verkürzung der Befüllzeiten geöffnet werden.

In den Torkammern kann sich Schlick oder Rollholz ablagern. Diese müssen durch Rührwerke oder Spüleinrichtungen entfernt werden.

Auf den Stemmtoren kann eine Brücke integriert werden, die auch die Überquerung der Schleuse mit Fahrzeugen ermöglicht.

Wartungsarbeiten lassen sich vergleichbar wie bei den anderen Verschlusssystemen durchführen.

Die Kosten dieses Torsystems betragen für 27 m breite Schleuse 9,9 Mio. € netto. Darin enthalten sind der Stahlwasserbau und die technische Ausrüstung

für ein doppeltes Stemmtorpaar am Außenhaupt und ein einfaches Stemmtorpaar am Binnenhaupt.

#### **Teilvariante ST.4: Schiebetor**

Das Schiebetor bewegt sich auf sog. Torwägen (z. B. Ober- und Unterwägen oder auch nur Unterwägen), die auf Schienen über die Breite der Schleuse geführt werden. Für diese Schienenkonstruktion ist eine wannenförmige Drempel- ausbildung notwendig, in der sich unvermeidlich Sediment und Rollholz ablagern würde. Dies ist in besonderem Maße der Fall, wenn die Schleuse bei geringen Wasserspiegeldifferenzen offen stehen bleibt.

Wegen dieser Empfindlichkeit gegenüber Sediment und Rollholz wird das Schiebetor von einer weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

#### **4.3.2 Bewertung der Schleusentorvarianten**

Bis auf das Schiebetor sind alle drei Torarten grundsätzlich möglich. Folgende Differenzierungsmerkmale können identifiziert werden:

##### **Befüllen und Entleeren**

Das Befüllen und Entleeren ist beim Sektortor besonders gut, weil hier auch ein beruhigtes Einströmen von Schleusungswasser möglich ist. Allerdings liegen die Befüllzeiten bei diesem System konstruktiv bedingt vergleichsweise hoch.

Das Drehsegment ermöglicht sehr effektives Befüllen und Entleeren, allerdings entsteht eine vergleichsweise hohe Turbulenz durch das Überströmen, welche die Schifffahrt belastet.

Das Stemmtor weist gute Befüllungs- und Entleerungseigenschaften auf. Es können große Füllschütze in die Tore integriert werden und das Befüllen und Entleeren kann durch ein frühzeitiges Öffnen des Tores unterstützt werden. Die Turbulenzen bleiben mäßig, da der Füllstrahl unter Wasser liegt.

##### **Robustheit gegen Sediment und Rollholz**

Bei diesem Kriterium schneiden das Sektortor und das Drehsegment sehr gut ab. Beide können selbsttätig ihren Bewegungsraum räumen. Das Stemmtor ist hier vergleichsweise weniger gut, weil nur mit Hilfsmitteln, wie z. B. Spüleinrichtungen, eine vergleichbare Qualität wie bei den anderen Toren erreicht wird.

##### **Integration einer Brücke**

Brücken können bei Sektortor und beim Stemmtor integriert werden. Bei beiden Torarten können die Brücken so groß dimensioniert werden, dass eine Überfahrt für Fahrzeuge möglich wird. Im Vergleich dazu kann beim Drehsegment keine Überquerung des Verschlusses realisiert werden, stattdessen könnte allerdings

ein Fußweg durch die Pfeiler und den Dremmel des Schleusenhauptes geführt werden.

### **Zusammenfassende Wertung**

Sofern eine Brücke zwingend erforderlich ist, scheidet das Drehsegment aus.

Die Sektortore benötigen vergleichsweise viel Platz. Das Stemmtor kann immer eingesetzt werden, ist allerdings in Bezug auf die Empfindlichkeit gegen Sediment und Rollholz nachteiliger.

Bei der Zusammenstellung der Gesamtvarianten wird deswegen primär die Verschlussart Stemmtor eingesetzt. Sofern es die Platzverhältnisse erlauben, werden auch Untervarianten mit dem Sektortor gebildet, so dass die abschließende Entscheidung, welche von diesen beiden Verschlussarten zum Einsatz kommen sollte, auf der Ebene Gesamtvarianten getroffen werden kann.

## **4.4 Bautechnische Lösungen der Schleusenkammer**

### **4.4.1 Beschreibung der Varianten**

Entsprechend den in Kapitel 3 dokumentierten Vorüberlegungen können folgende Teilvarianten für bautechnische Lösungen bei den Schleusenkammern identifiziert werden.

- Teilvariante SK.1: Seitenwände in Massivbauweise
- Teilvariante SK.2: Seitenwände in Fangedammbauweise
- Teilvariante SK.3: Hydraulisch durchlässige Sohle
- Teilvariante SK.4: Undurchlässige Betonsohle.

Die einzelnen Varianten werden im folgenden kurz vorgestellt und einer vergleichenden Bewertung zugeführt.

#### **Teilvariante SK.1: Seitenwände in Massivbauweise**

Abbildung 4-15 zeigt einen Querschnitt durch die Schleusenkammerwände in Massivbauweise. Gleichzeitig ist dort auch eine nach unten verankerte durchlässige Schleusenkammersohle eingezeichnet.

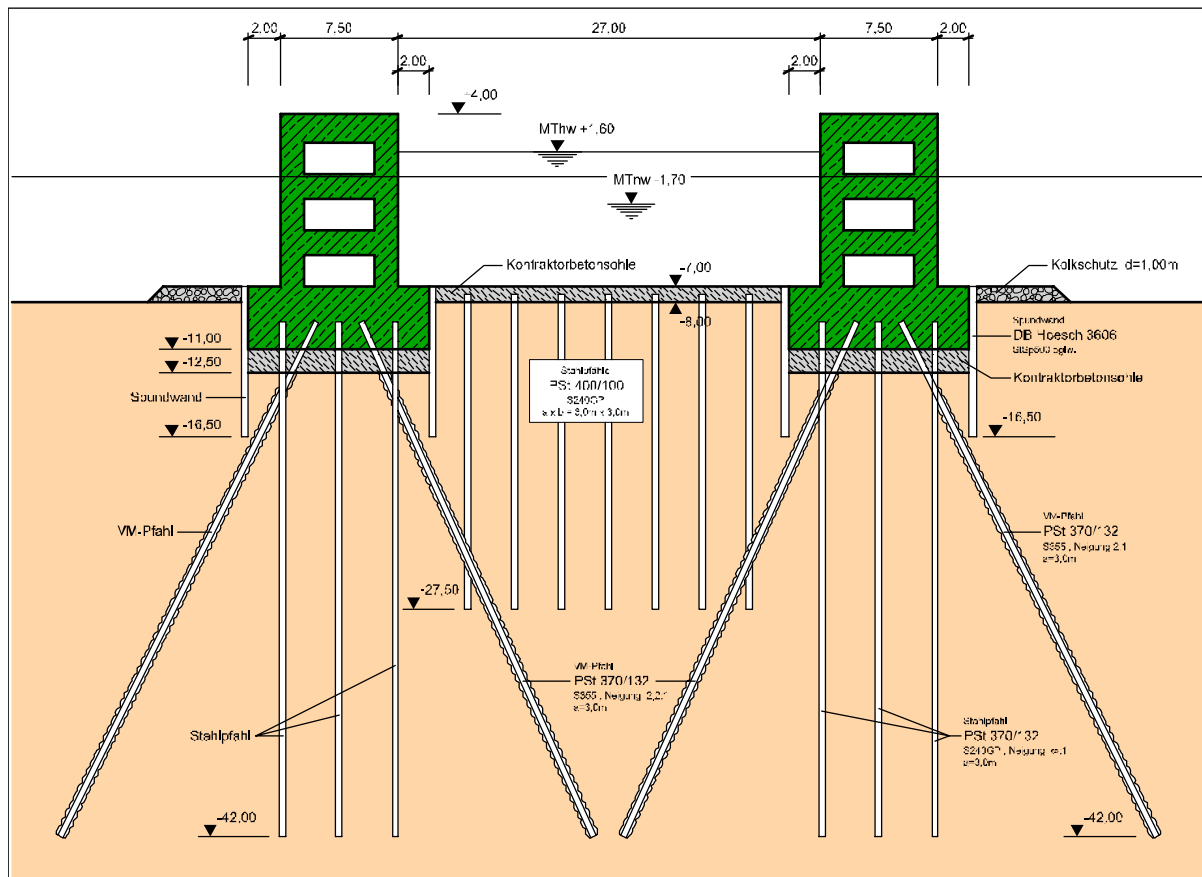


Abbildung 4-15: Querschnitt Schleusenammerwände in Massivbauweise mit nach verankerter undurchlässiger Schleusenammersohle

Die Schleusenammerwände in Massivbauweise erlauben es mit sehr kompakten Bauformen hohe Lasten in den Baugrund einzutragen. Deswegen ist diese Bauweise auch für die Pfeilerbauwerke der beweglichen Schwellen und für die Schleusenhäupter unverzichtbar. Allerdings sind mit dieser Bauweise mit vergleichsweise hohen Investitionskosten verbunden, die bei überschläglich 94.000 €/lfdm netto (gerechnet für eine Schleusenammerwand) liegen.

#### Teilvariante SK.4: Undurchlässige Betonsohle für die Schleusenammersohle

Diese konstruktive Lösung der Schleusenammersohle ist ebenfalls in Abbildung 4-15 dargestellt. Diese Art der Sohle muss im Schutze einer Baugrube hergestellt werden. Dazu wird zunächst eine Zugverankerung, z. B. aus GEWI-Pfählen eingebaut. Die Sohle wird mit Unterwasserbeton (Kontraktorbeton) abgedeckt. Dadurch entsteht Auftriebsicherheit.

Vorteil dieser Konstruktion ist die Möglichkeit die gesamte Schleusenammer zu Inspektionszwecken trocken zu legen.

Allerdings liegt der Preis für diese Bauweise bei vergleichsweise hoch. Er beträgt rd. 910 €/m<sup>2</sup> (netto).

### Teilvariante SK.2: Schleusen- und Kammerwand Fangedammbauweise

Die Bauweise Schleusenkammerwand aus Fangedamm ist in Abbildung 4-16 zusammen mit einer durchlässigen Schleusenkammersohle dargestellt.

Bei dem Fangedamm handelt es sich um ein verhältnismäßig einfaches Bauwerk, dessen Stabilität durch die beidseitigen Spundwände in Verbindung mit der Bodenfestigkeit (Reibungswinkel) des Füllmaterials entsteht. Seine Standicherheit hängt entscheidend von der Qualität der Baugrundverhältnisse und der Qualität des Füllmaterials ab. Im Vergleich zur Massivbauweise wird eine größere Breite der Schleusenkammerwand benötigt.

Die Fangedammbauweise ist vergleichsweise kostengünstig und wird für den vorliegenden Fall mit rund 49.000 €/fdm. netto (jeweils für eine Schleusenkammerwand) abgeschätzt.

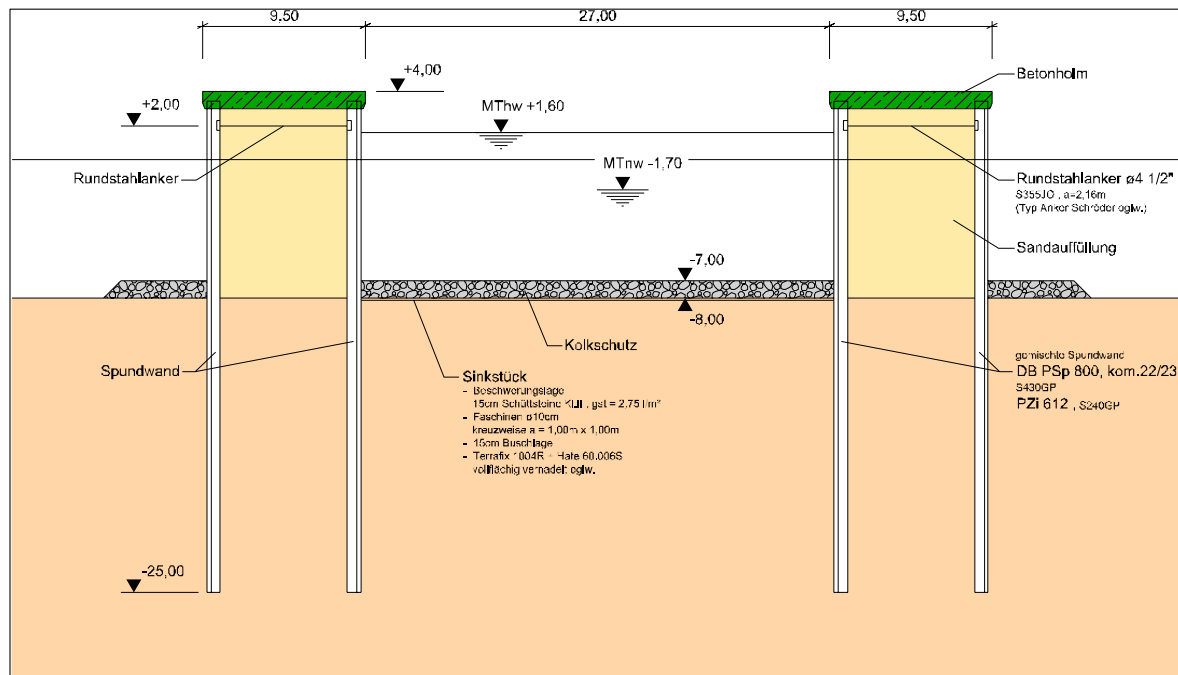


Abbildung 4-16: Querschnitt Schleusenkammerwände in Fangedammbauweise mit durchlässiger Schleusenkammersohle

### Teilvariante SK.3: Hydraulisch durchlässige Sohle der Schleusenkammer

Diese Sohle ist ebenfalls in Abbildung 4-16 dargestellt. Sie ist nur unter Wasser herstellbar und sehr vergleichbar zu einem Kolkchutz.

Sie besteht in der Regel aus Wasserbausteinen auf Sinkstücken, die mit Teilverguss fixiert werden.



Die Schleusenkammer kann nicht trockengelegt werden, d.h. eine Inspektion der Schleusenkammersohle und ggf. Reparaturen können nur unter Wasser durchgeführt werden. (Dies gilt nicht für die Schleusenhäupter, die in Massivbauweise hergestellt werden müssen.)

Bei dieser Sohlausbildung handelt es sich um eine vergleichsweise kostengünstige Bauweise, deren Kosten mit rund 320 €/m<sup>2</sup> netto abgeschätzt werden.

#### **4.4.2 Bewertung der bautechnischen Lösungen für die Schleusenkammer**

Die Teilvarianten Fangedamm und hydraulisch durchlässige Sohle sind bedeutend preiswerter als die anderen beiden Bauweisen.

Gleichzeitig sind die technischen Vorteile, die die massiven Schleusen-kammerwände und die undurchlässigen Schleusenkammersohlen mit sich bringen, für den hier zu betrachtenden Planungsfall nicht unbedingt notwendig. Die zu planende Schleuse unterliegt im Vergleich zu Binnenschleusen vergleichsweise geringen Wasserspiegeldifferenzen, die die bautechnische Lösung Fangedamm überhaupt erst ermöglicht und die die Sickerwassermengen durch die durchlässige Sohle gering halten.

Im Ergebnis sollten die Bauweisen Fangedamm und hydraulisch durchlässige Sohle soweit wie möglich eingesetzt werden. Nur da wo notwendig – z. B. bei Schleusenhäuptern – sollte auf die anderen Bauweisen gewechselt werden.

## 5 Gesamtvarianten

Die aus den Teilvarianten hervorgegangenen besten Lösungen werden zu Gesamtvarianten zusammen gesetzt, die im ersten Abschnitt dieses Kapitels zusammenhängend beschrieben werden. Im zweiten Schritt erfolgt die Darstellung möglicher Bauabläufe, weil deren Kenntnis auch für die Bewertung der Varianten notwendig ist. Abschließend wird eine ausführliche Bewertung der Gesamtvarianten dargestellt.

### 5.1 Beschreibung der Gesamtvarianten

#### 5.1.1 Gesamtvariante A.1: „Schwelle oberhalb des Sperrwerkes mit Schleuse am nördlichen Ufer“

Abbildung 5-1 zeigt den Lageplan der Gesamtvariante A.1. Dieser ist in der Zeichnung 90122-S-A1-01 großmaßstäblich dargestellt. Die Zeichnung 90122-S-A1-02 enthält eine Detailzeichnung der Schleuse.

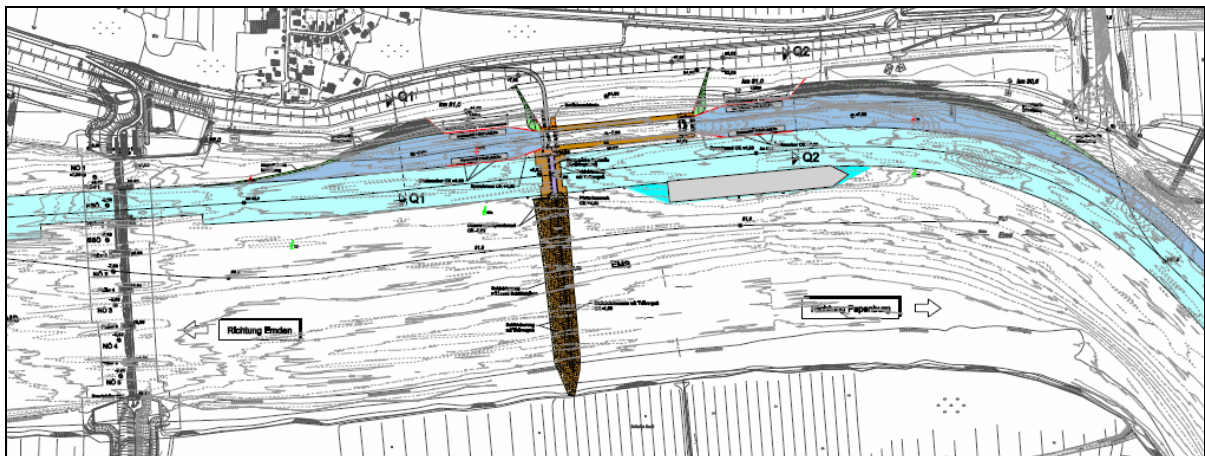


Abbildung 5-1: Lageplan der Gesamtvariante A.1

Die Gesamtvariante A1, die rund 800 m oberhalb (östlich) des bestehenden Sperrwerkes angeordnet ist, besteht aus den folgenden Bauteilen:

- Am südlichen Ufer beginnend ist bis zur Fahrrinne eine feste Schwelle in Steinschüttdambauweise vorgesehen. Der Anschluss an das südliche Ufer erfolgt zur Verhinderung von Umläufigkeiten in Form einer Buhne.
- Innerhalb der bestehenden Fahrrinne wird eine bewegliche Schwelle in der Bauart Drehsegment angeordnet. Die gewählte Durchfahrtsbreite von 75 m entspricht der vorhandenen Fahrinnenbreite.
- Nördlich der vorhandenen Fahrrinne ist eine Einkammerschleuse vorgesehen, deren nutzbare Abmessungen bei 225 m Länge und 27 m Breite

liegen. Die vorgesehene Drempeltiefe beträgt NN -7,0 m. Sie ist mit nach oberstrom kehrenden Stemmtoren ausgestattet. Auf der Innenseite der Schleusenhäupter wird ein Stoßschutz angeordnet.

- Die beidseitig vorgesehenen Schleusenvorhöfen weisen eine Länge von 125 m auf, so dass zwei Notliegeplätze für die Binnenschifffahrt entstehen.
- Das Betriebsgebäude kann nördlich der Schleuse auf einer herzurichtenden Fläche errichtet werden.
- Für die Zufahrt zu den Schleusenvorhöfen ist eine Fahrwasseraufweitung auf der Nordseite des bestehenden Fahrwassers erforderlich. Dies erfordert auch die Anpassung von Uferböschungen.  
Die in der Zeichnung 90122-S-A1-01 eingetragenen Fahrwassererweiterungen sind in den Kosten der Gesamtvariante unter der Pos. *Nassbaggerarbeiten* berücksichtigt.
- Die gesamten Investitionskosten stellt die Tabelle 5-1 dar. Die Kosten schließen mit der Nettobausumme von rund 138 Mio. € ab.

Tabelle 5-1: Kosten der Gesamtvariante A.1

Leistung	Menge	ME	EP	GP in €
<b>Summe: Einfachschleuse oberstrom</b>				<b>77.175.000</b>
Kreisdrehsegment über 75 m UK NN-9,0m	1	St	20.475.000	20.475.000
<b>Summe: Drehsegmentschwelle in Fahrrinne</b>				<b>20.475.000</b>
<b>Summe: Feste Schwelle</b>				<b>2.519.000</b>
Rückverankerte Vorhafenwand	470	m	10.913	5.129.000
Freistehende Vorhafenwand	370	m	9.000	3.330.000
Stahlbauliche Ausrüstung Vorhöfen	1	psch	281.000	281.000
Nassbaggerarbeiten zur Herstellung der Vorhöfen und Zufahrten	160.000	m <sup>3</sup>	19	3.040.000
Böschungssicherungen mit Sinkstücken und Deckwerk	18.250	m <sup>2</sup>	155	2.833.000
<b>Summe: Vorhöfen</b>				<b>14.613.000</b>
<b>Summe Bautechnik GV - A.1</b>				<b>114.782.000</b>
<b>Zuschläge</b>				
Technische Bearbeitung				5.739.100
Nicht einzeln erfasste Leistungen				17.217.300
<b>Summe: Zuschläge</b>				<b>22.956.400</b>
<b>Endsumme GV - A.1</b>				<b>137.738.400</b>

### 5.1.2 Gesamtvariante B.1: „Schwelle im Sperrwerksquerschnitt mit Schleuse in der nördlichen Nebenöffnung“

Ein Lageplan der Gesamtvariante enthält die Abbildung 5-2. Er ist darüber hinaus in der Zeichnung 90122-S-B1-01 dargestellt. Einen Detailgrundriss der Schleuse enthält die Zeichnung 90122-S-B1-02.

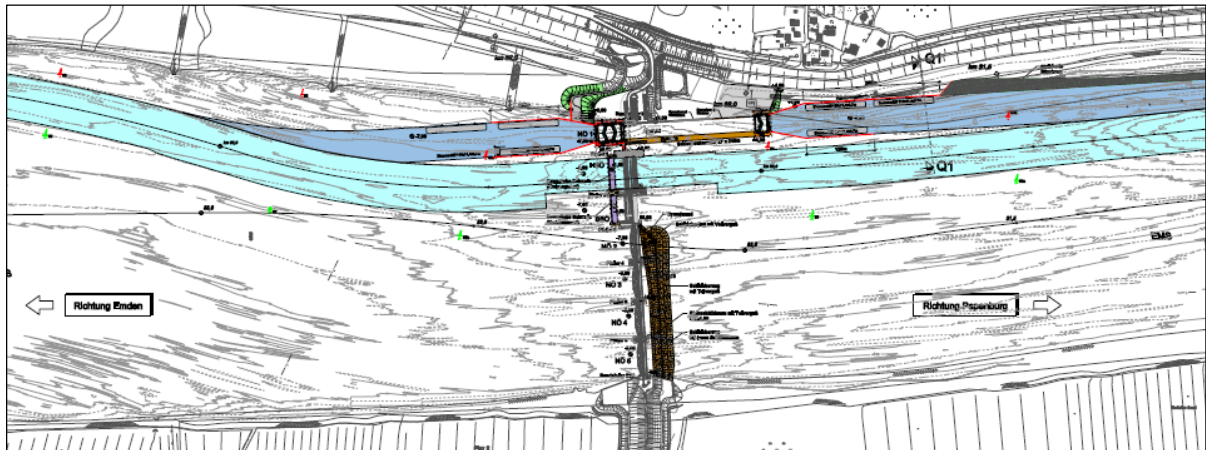


Abbildung 5-2: Lageplan der Gesamtvariante B.1

Die Gesamtvariante B1 besteht grundsätzlich aus einer Schwelle im Sperrwerksquerschnitt sowie der Anordnung einer Schleuse in der vorhandenen nördlichen Nebenöffnung des Sperrwerkes (NÖ1). Von Süd nach Nord gesehen, besteht sie aus den folgenden Bauteilen:

- Eine feste Schwelle in Dammbauweise, deren Achse 30 m oberstrom der vorhandenen Sperrwerksachse liegt und die vom südlichen Ufer bis zur Nebenöffnung 2 reicht. Der Anschluss des Dammes an den Pfeiler 3 (Trennpfeiler zwischen Binnenschifffahrtsöffnung und Nebenöffnung 2) erfolgt durch eine Spundwand.
- In der Binnenschifffahrts- und Hauptschifffahrtsöffnung sind bewegliche Schwellen der Bauart Drehsegment vorgesehen.
- Die Einkammerschleuse in der nördlichen Nebenöffnung (NÖ1) hat ebenfalls die nutzbaren Abmessungen von 225 m Länge und 27 m Breite, die Drenptiefe entspricht mit NN -7,0 m der vorhandenen Drenptiefe des Sperrwerkes in dieser Öffnung. Wie bei Variante A1 ist die Schleuse mit nach oberstrom kehrenden Stemmtoren ausgestattet, wobei zusätzlich im Unterhaupt ein separates Sturmflutschutzstemmtor vorgesehen ist, welches nach unterstrom kehrt. Auf den Innenseiten der Schleusenhäupter ist ein Stoßschutz vorgesehen.
- Die Schleusenvorhöfen haben auf der Nordseite jeweils eine Länge von 250 m und auf der Südseite (Fahrrinnenseite) eine Länge von 125 m. Die im

Vergleich zur Variante A1 größere Vorhafenlänge auf der Nordseite ergibt sich aus der Notwendigkeit, den Geländesprung zwischen Deichvorland und Schleusenvorhafen durch eine Spundwandkonstruktion abzufangen. Dies gilt streng genommen nur für die Oberstromseite, wurde aber, um gleichartige Vorhafenbedingungen zu schaffen, auch auf der Unterseite vorgesehen. Auf diese Weise entstehen oberstrom und unterstrom drei Liegeplätze für Binnenschiffe im Bereich des Vorhafens.

- Das Betriebsgebäude für die Schleuse, könnte auch mit dem Betriebsgebäude des Sperrwerkes kombiniert werden, ebenfalls stehen Baustelleneinrichtungsf lächen am Sperrwerk zur Verfügung.
- Um die Schleusenvorhäfen zu erreichen, ist eine Aufweitung des Fahrwassers auf der Nordseite und ein Abtrag von Uferböschungen erforderlich. Diese sind in der Zeichnung 90122-S-B1-01 dargestellt und in den Investitionskosten eingerechnet.

Die Gesamtkosten der Variante B.1 zeigt die Tabelle 5-2. Sie schließt mit der Gesamtsumme von 157 Mio. € ab.

Tabelle 5-2: Kosten der Gesamtvariante B.1

Leistung	Menge	ME	EP	GP in €
<b>Summe: Einfachschleuse in NÖ1</b>				<b>84.375.000</b>
Kreisdrehsegment über 60 m UK NN-9,0m	1	St	15.188.000	15.188.000
Kreisdrehsegment über 50 m UK NN-7,0m	1	St	13.275.000	13.275.000
<b>Summe: Bewegliche Schwellen</b>				<b>28.463.000</b>
<b>Summe: Festeschwelle</b>				<b>2.060.000</b>
Rückverankerte Vorhafenwand	340	m	10.912	3.710.000
Freistehende Vorhafenwand	515	m	9.000	4.635.000
Stahlbauliche Ausrüstung Vorhäfen	1	psch	352.000	352.000
Dalbenliegeplatz inkl. Ausrüstung im Vorhafen	1	St	84.000	84.000
Nassbaggerarbeiten zur Herstellung der Vorhäfen und Zufahrten	203.984	m <sup>3</sup>	19	3.876.000
Böschungssicherungen mit Sinkstücken und Deckwerk	19.922	m <sup>2</sup>	155	3.093.000
<b>Summe: Vorhäfen</b>				<b>15.750.000</b>
<b>Summe Bautechnik GV - B.1</b>				<b>130.648.000</b>
<b>Zuschläge</b>				
Baustelleneinrichtung (Kleingeräte etc.)				
Technische Bearbeitung				6.532.400
Nicht einzeln erfasste Leistungen				19.597.200
<b>Summe Bautechnik UV - B.2.b</b>				<b>26.129.600</b>
<b>Endsumme GV - B.1</b>				<b>156.777.600</b>

#### Untervariante B1-U.1

In dieser Untervariante wird die bewegliche Schwelle in der Binnenschiff-fahrtsöffnung durch eine feste Schwelle ersetzt. Auf diese Weise kann der vor-gesehene Damm nach Norden verlängert werden. Er schließt an den Pfeiler 2 (Pfeiler zwischen der Binnenschiff-fahrts- und der Hauptschiff-fahrtsöffnung) mittels einer Spundwand an.

Die sich daraus ergebende Kosteneinsparung stellt die Tabelle 5-3 dar. Es ergeben sich geringere Gesamtkosten, weil die feste Schwelle signifikant kostengünstiger als eine bewegliche Schwelle erstellt werden kann.

Tabelle 5-3: Kosten der Untervariante 1 zur Gesamtvariante B.1

Leistung	Menge	ME	EP	GP in €
<b>Summe: Einfachschleuse in NÖ1</b>				<b>84.375.000</b>
Kreisdrehsegment über 60 m UK NN-9,0m	1	St	15.188.000	15.188.000
<b>Summe: Bewegliche Schwelle</b>				<b>15.188.000</b>
<b>Summe: Festeschwelle</b>				<b>2.556.000</b>
Rückverankerte Vorhafenwand	340	m	10.912	3.710.000
Freistehende Vorhafenwand	515	m	9.000	4.635.000
Stahlbauliche Ausrüstung Vorhäfen	1	psch	352.000	352.000
Dalbenliegeplatz inkl. Ausrüstung im Vorhafen	1	St	84.000	84.000
Nassbaggerarbeiten zur Herstellung der Vorhäfen und Zufahrten	203.984	m <sup>3</sup>	19	3.876.000
Böschungssicherungen mit Sinkstücken und Deckwerk	19.922	m <sup>2</sup>	155	3.093.000
<b>Summe: Vorhäfen</b>				<b>15.750.000</b>
<b>Summe Bautechnik UV - B.1</b>				<b>117.869.000</b>
<b>Zuschläge</b>				
Baustelleneinrichtung (Kleingeräte etc.)				5.893.450
Technische Bearbeitung				17.680.350
Nicht einzeln erfasste Leistungen				
<b>Summe: Zuschläge</b>				<b>23.573.800</b>
<b>Summe Bautechnik UV - B.1</b>				<b>141.442.800</b>

### 5.1.3 Gesamtvariante B.2: „Schwelle im Sperrwerksquerschnitt mit Schleuse in Nebenöffnung 2“

Die Gesamtvariante B.2 ist mit ihren Bestandteilen in Abbildung 5-3 dargestellt. Die Zeichnung 90122-S-B1-01 enthält den zugehörigen Lageplan. In der Zeichnung 90122-S-B1-04 ist die Schleuse, die mit Stemmtoren ausgestattet ist, im Detail dargestellt.

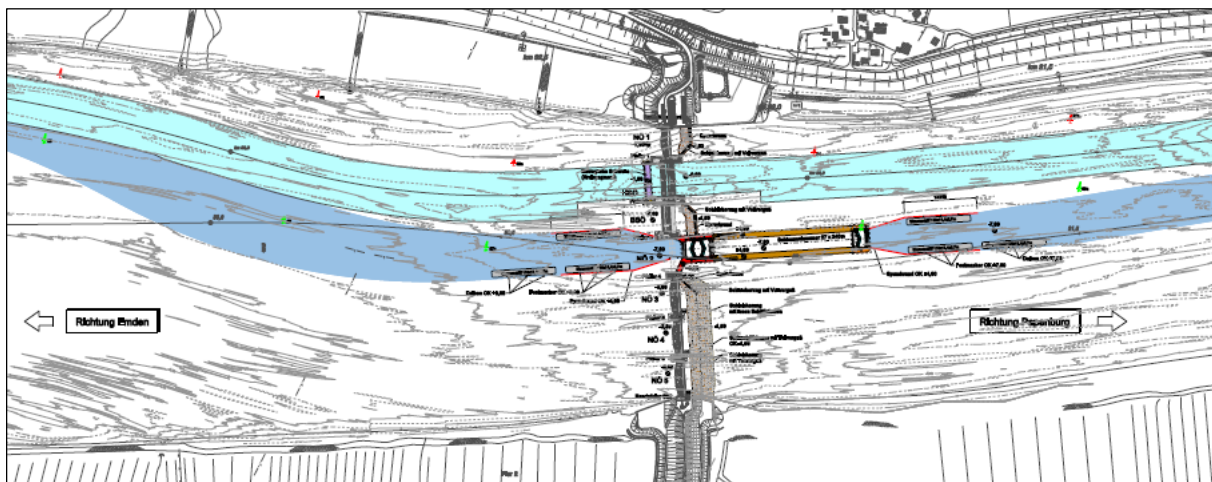


Abbildung 5-3: Lageplan der Gesamtvariante B.2

Die Gesamtvariante B.2 besteht aus einer Schwelle im Sperrwerksquerschnitt mit einer Schleuse in der südlich an die Binnenschifffahrtsöffnung angrenzenden Nebenöffnung (NÖ2). Sie besteht aus den folgenden Einzelbauwerken:

- Eine feste Schwelle in Dammbauweise, deren Achse 30 m oberstrom der Achse des Sperrwerks liegt und die den südlichen Nebenöffnungen des Sperrwerks (NÖ3 bis NÖ5) vorgelagert ist. Der Anschluss des Dammes an den Pfeiler 4 (Pfeiler zwischen Nebenöffnung 3 und Nebenöffnung 2) erfolgt durch eine Spundwand.
- Die Einkammerschleuse in der südlichen Nebenöffnung (NÖ2) hat ebenfalls die nutzbaren Abmessungen von 225 m Länge und 27 m Breite sowie die Drempeltiefe von NN -7 m. Auch hier sind die Stemmtore nach oberstrom kehrend angeordnet und es ist ein separates Sturmflutschutzstemmtor im Unterhaupt nach unterstrom kehrend vorgesehen. Auch hier sollen die Innenseiten der Schleusenhäupter durch Stoßschutz gesichert werden.
- Die Länge der Schleusenvorhöfen beträgt an der Südseite 250 m und an der Nordseite zur Fahrrinne 125 m. Analog zur Gesamtvariante B.1 ergeben sich auch hier jeweils ober- und unterstrom drei Liegeplätze für die Binnenschiffahrt.
- In der Hauptschifffahrtsöffnung ist eine bewegliche Schwelle nach der Bauart Drehsegment vorgesehen.
- Die Binnenschifffahrtsöffnung und die nördliche Nebenöffnung (NÖ1) erhalten feste Schwellen in Spundwandbauweise, die jeweils 30 m oberhalb der vorhandenen Sperrwerksachse verlaufen.
- Eine mögliche Anpassung der Fahrrinne stellt die Zeichnung 90122-S-B1-01 dar. Die Kosten für die dargestellte Fahrrienenanpassung sind in den Investitionskosten berücksichtigt. Diese Anpassung ist lediglich als vorläufiger Entwurf zu verstehen, um eine gewisse Berücksichtigung der zugehörigen Herstellungskosten in den Gesamtkosten der Variante zu ermöglichen. Es sind Fahrversuche im Schiffssimulator erforderlich, um zu einer realistischen Einschätzung der notwendigen Fahrrienenverlegung zu gelangen.

#### Untervariante 1 „bewegliche Schwelle auch in der Binnenschifffahrtsöffnung“

Der einzige Unterschied zur Grundvariante B.2 ist der Ersatz der festen Schwelle in der Binnenschifffahrtsöffnung durch eine Drehsegmentenschwelle. Hierdurch wird es möglich, einen größeren Fließquerschnitt in der Hochwasserphase freizugeben, wodurch möglicherweise das Tidefenster, in dem die Schiffahrt frei passieren kann, größer wird. Diese Untervariante wird aber auch benötigt, um die Kosten der Gesamtvariante B.2 mit denen der Gesamtvariante B.1 vergleichen zu können.

### Untervariante 2 „Schleuse mit Sektortoren und beweglicher Schwelle in der Hauptschiffahrtsöffnung“

Diese Untervariante zur Gesamtvariante B.2 ist auf den Zeichnungen 90122-S-B1-02 und 05 dargestellt. Letztere enthält einen detaillierten Grundriss der Schleusenkammer.

Bei der Beurteilung der Teilvarianten zu den möglichen Schleusentorkonstruktionen hatte das Sektortor gut abgeschnitten, allerdings hängt seine Einsetzbarkeit von den Platzverhältnissen ab. Die Tatsache, dass bei der Gesamtvariante B.2 die Schleuse in der Nebenöffnung 2 mit einer lichten Weite von 63,5 m angeordnet ist, macht es möglich, hier das Sektortor einzusetzen, weil das relativ breite Bauwerk des Schleusenhauptes vor der Öffnung angeordnet werden kann.

Die Sektortore können beidseitig Wasserstandsunterschiede kehren, so dass für das Außenhaupt, auch unter Berücksichtigung des Sturmflutschutzes, nur ein Tor notwendig ist. Um dieses vor Schiffsanfahrt zu schützen, ist vorgesehen, das Außenhaupt der Schleuse auch von der Außenseite mit einem Stoßschutz zu sichern.

#### **Kosten der Gesamtvariante B.2 und der zugehörigen Untervarianten**

Die Kosten der Gesamtvariante B.2 mit nur einer beweglichen Schwelle in der HSÖ sowie einer Einfachschleuse mit Stemmtoren, sind in der Tabelle 5-4 dargestellt. Die Nettobaukosten summieren sich zu rund 145 Mio. €(netto).

Tabelle 5-4: Kosten der Gesamtvariante B.2

Leistung	Menge	ME	EP	GP in €
<b>Summe: Einfachschleuse in NÖ2</b>				<b>93.375.000</b>
Kreisdrehsegment über 60 m UK NN-9,0m	1	St	15.188.000	15.188.000
<b>Summe: Bewegliche Schwelle</b>				<b>15.188.000</b>
<b>Summe: Festeschwellen</b>				<b>2.894.000</b>
Freistehende Vorhafenwand	750	m	9.000	6.750.000
Stahlbauliche Ausrüstung Vorhäfen	1	psch	281.000	281.000
Dalbenliegeplatz inkl. Ausrüstung im Vorhafen	2	St	84.500	169.000
Nassbaggerarbeiten zur Herstellung der Vorhäfen und Zufahrten	122.300	m <sup>3</sup>	19	2.324.000
<b>Summe: Vorhäfen</b>				<b>9.524.000</b>
<b>Summe Bautechnik GV - B.2</b>				<b>120.981.000</b>
<b>Zuschläge</b>				
Technische Bearbeitung				6.049.050
Nicht einzeln erfasste Leistungen				18.147.150
<b>Summe: Zuschläge</b>				<b>24.196.200</b>
<b>Endsumme GV - B.2</b>				<b>145.177.200</b>

Tabelle 5-5 stellt im Vergleich dazu die Untervariante 1 zur Grundvariante B.2 mit beweglichen Schwellen in der Hauptschiffahrtsöffnung und Binnenschiffahrtsöffnung dar. Auch bei dieser Variante ist eine Einfachschleuse mit



Stemmtoren berücksichtigt. Die Kosten dieser Untervariante belaufen sich auf 160 €Mio. (netto).

Tabelle 5-5: Kosten der Untervariante 1 zur Gesamtvariante B.2

Leistung	Menge	ME	EP	GP in €
<b>Summe: Einfachschleuse in NÖ2</b>				<b>93.375.000</b>
Kreisdrehsegment über 60 m UK NN-9,0m	1	St	15.188.000	15.188.000
Kreisdrehsegment über 50 m UK NN-7,0m	1	St	13.275.000	13.275.000
<b>Summe: Bewegliche Schwelle</b>				<b>28.463.000</b>
<b>Summe: Festeschwellen</b>				<b>2.182.000</b>
Freistehende Vorhafenwand	750	m	9.000	6.750.000
Stahlbauliche Ausrüstung Vorhäfen	1	psch	281.000	281.000
Dalbenliegeplatz inkl. Ausrüstung im Vorhafen	2	St	84.500	169.000
Nassbaggerarbeiten zur Herstellung der Vorhäfen und Zufahrten	122.300	m <sup>3</sup>	19	2.324.000
<b>Summe: Vorhäfen</b>				<b>9.524.000</b>
<b>Summe Bautechnik UV - B.2.a</b>				<b>133.544.000</b>
<b>Zuschläge</b>				
Technische Bearbeitung				6.677.200
Nicht einzeln erfasste Leistungen				20.031.600
<b>Summe: Zuschläge</b>				<b>26.708.800</b>
<b>Endsumme UV - B.2.a</b>				<b>160.252.800</b>

In der Tabelle 5-6 sind die Kosten der Untervariante 2 zur Gesamtvariante B.2 dargestellt. Sie unterscheidet sich von der Grundvariante B.2 nur durch den Einsatz der Sektortore in der Schleuse und hat wie die Grundvariante B.2 nur eine bewegliche Schwelle in der Hauptschiffahrtsöffnung. Sie schließt mit Gesamtkosten von 150 Mio. € ab. Im Vergleich zu der Grundvariante ergeben sich für die Sektortore Mehrkosten von rund 5 Mio. €

Tabelle 5-6: Kosten der Untervariante 2 zur Gesamtvariante B.2

Leistung	Menge	ME	EP	GP in €
<b>Summe: Einfachschleuse in NÖ2 mit Sektortoren</b>				<b>97.088.000</b>
Kreisdrehsegment über 60 m UK NN-9,0m	1	St	15.188.000	15.188.000
<b>Summe: Bewegliche Schwelle</b>				<b>15.188.000</b>
<b>Summe: Festeschwellen</b>				<b>2.894.000</b>
Freistehende Vorhafenwand	750	m	9.000	6.750.000
Stahlbauliche Ausrüstung Vorhäfen	1	psch	281.000	281.000
Dalbenliegeplatz inkl. Ausrüstung im Vorhafen	2	St	84.500	169.000
Nassbaggerarbeiten zur Herstellung der Vorhäfen und Zufahrten	122.300	m <sup>3</sup>	19	2.324.000
<b>Summe: Vorhäfen</b>				<b>9.524.000</b>
<b>Summe Bautechnik UV - B.2.b</b>				<b>124.694.000</b>
<b>Zuschläge</b>				
Technische Bearbeitung				6.234.700
Nicht einzeln erfasste Leistungen				18.704.100
<b>Summe: Zuschläge</b>				<b>24.938.800</b>
<b>Endsumme UV - B.2.b</b>				<b>149.632.800</b>

## 5.2 Bauablauf

Nachfolgend werden in einfacher Form mögliche Bauabläufe dargestellt, um eine Orientierung über die sich ggf. ergebenden Beeinträchtigung für die Schifffahrt zu erhalten und diese in die Wertung einstellen zu können.

### 5.2.1 Bauablauf Variante A.1

#### Bauphase 1: Baustelleneinrichtung

Auf der Nordseite des zukünftigen Schwellenbauwerkes ist im Deichvorland eine Baustelleneinrichtungsfläche zu errichten. Ob auch auf der Südseite der Ems eine Baustelleneinrichtungsfläche benötigt wird, ist im Zuge einer weiteren Planung zu ermitteln.

#### Bauphase 2: Herstellung der Einfachschleuse auf der Nordseite

##### *Bauphase 2 a: Herstellung des Schleusenhauptes*

Zunächst sind die Sinkstücke für den zukünftigen Kolkschutz abzusenken und zu beschweren. Die Baugrubenspundwände werden unter Durchrammung der Sinkstücke eingebracht und ausgesteift. Es erfolgt eine Teilerstellung des Kolkschutzes. Unter Wasser wird die Baugrube ausgehoben, die Pfahlgründung eingebaut und eine Kontraktorbetonsohle eingebaut. Bauarbeiten für das Schleusenaußenhaupt können mit Anschluss an den Uferbereich Nord durchgeführt werden. Danach erfolgt der Einbau der Schleusentore, der Hydraulikanlage des Stoßschutzes und der technischen Ausrüstung.

##### *Bauphase 2 b: Herstellung des Binnenschleusenhauptes*

Dieses kann in gleicher Art und Weise wie das Schleusenaußenhaupt hergestellt werden.

##### *Bauphase 2 c: Herstellung der Schleusenammern*

Die Herstellung der Schleusenammern beginnt mit der Rammung der Fangedammspundwände, die an das Außen- und Binnenhaupt anzuschließen sind. Nach Einbau der Fangedammanker kann die Verfüllung erfolgen und kann auf der Südseite das Schleusendeck in Betonbauweise hergestellt werden. In einem nächsten Schritt erfolgen die Herstellung der rückverankerten Flügelwände auf der Nordseite, Verfüllung und Ergänzung der Schleusenammerwand der Nordseite sowie die Herstellung des zugehörigen Schleusendecks der neuen Schleuse auf der Nordseite. Die Arbeiten werden abgeschlossen durch die Herstellung der Schleusenausrüstung des Betriebsgebäudes, durch die Baggerung der Schleusenammer, mit Einbau einer Sinkstücklage und Einbau der Steinschüttung mit Teilverguss.

Ob auf der Außenseite der Schleusen sowie im Bereich der Häupter auch Kolkschutzmaßnahmen erforderlich sind, muss im Zuge der weiteren Planung ermittelt werden.

### Bauphase 3: Bewegliche Schwelle im Hauptfahrwasser

#### *Bauphase 3 a: Herstellung der Schwellenpfeiler in der Ems*

Die Arbeiten beginnen mit dem Einbau von Sinkstücken durch Absenken und Beschweren derselben. Es folgt der Einbau der Baugrubenspundwände und Baugrubenaussteifung sowie die Fertigstellung des Kolksschutzes. Die Baugrube wird unter Wasser ausgehoben. Es erfolgt der Einbau der Pfahlgründung und der Kontraktorbetonsohle. In der trockengelegten Baugrube kann die Herstellung des Schwellenpfeilerbauwerks erfolgen.

#### *Bauphase 3 b:*

Herstellung des Drempele für die bewegliche Schwelle im Emsfahrwasser einschließlich des Einbaus des Drehsegmentverschlusses

Zunächst ist der Schiffsverkehr durch die neue Schleuse oder südlich des Großschiffsliegeplatzes und der Schwellenbaugrube umzuleiten. Nach Sperrung des Hauptfahrwassers können dort Sinkstücke abgesenkt und beschwert werden und können die Drempelebaugrubenspundwände eingebaut werden. Der Kolksschutz wird soweit erforderlich vervollständigt und die Baugrube ausgesteift. Unter Wasser kann die Baugrube weiter ausgehoben und können die Pfähle für die Gründung eingebaut werden. Danach erfolgt der Einbau der Kontraktorbetonsohle. Im Schutz der trockengelegten Baugrube wird der Drempele aus Beton hergestellt und kann nachfolgend der Drehsegmentverschluss einschl. der technischen Ausrüstung eingebaut werden. Die Baugrube wird geflutet. Die Baugrubenwände können rückgebaut werden. Der Kolksschutz ist soweit erforderlich zu ergänzen und teilzuvergießen.

Die Schifffahrt kann das Sperrwerk wieder im Hauptfahrwasser passieren.

### Bauphase 4: Herstellung der Schleusenvorhäfen sowie die Inbetriebnahme Schleuse

#### *Bauphase 4 a: Herstellung der Vorhäfen*

Zunächst sind die Sinkstücke für den Kolksschutz zu verlegen. Die Vorhafenspundwände werden gerammt, in Teilbereichen rückverankert und der Kolksschutz wird fertig gestellt. Die notwendigen Ausrüstungsteile werden an der Spundwand angebaut und die Nassbaggerarbeiten sind durchzuführen, die Böschung auf der Nordseite der Ems anzupassen sowie Festmachdalben im Bereich der Vorhäfen einzubauen.

#### *Bauphase 4 b:*

Soweit erforderlich ist die Baustelleneinrichtung zurückzubauen und die Schleuse in Betrieb zu nehmen, damit sie zu Beginn der Errichtung der festen Schwelle zur Verfügung steht.

### Bauphase 5: Bau der festen Schwelle

Zunächst werden die Sinkstücke eingebaut und der Kolkschutz aufgebracht. Der Damm wird durch Absetzen der Geotextilen Container errichtet. Die dabei entstehenden Unebenheiten werden mit Schüttsteinen ausgeglichen. Im Zuge des Baus dieses Teils der Schwelle tritt die hydromechanische Wirkung (der Aufstau bei Niedrigwasser) ein. Die Schwelle ist sozusagen in Funktion. Deswegen sollten der bewegliche Verschluss sowie die Schleuse betriebsbereit sein. Der Bau der festen Schwelle schließt mit dem Bau des Deckwerks und dessen Teilverguss ab.

#### **5.2.2 Bauablauf Variante B.1**

Es werden die einzelnen Bauphasen benannt und die Abweichungen zum Bauablauf der Variante A.1 beschrieben.

#### Bauphase 1: Baustelleneinrichtung

Eine Baustelleneinrichtung ist auf der Nordseite und soweit erforderlich auch auf der Südseite herzustellen. Auf der Nordseite bieten sich dafür die bereits vorhandenen Flächen am Betriebsgebäude des Sperrwerks an. Im weiteren Verlauf kann entweder mit dem Bau der Schleuse oder mit dem Bau der beweglichen Schwelle begonnen werden, hier wird wie bei A.1 ein Baubeginn mit der Schleuse dargestellt:

#### Bauphase 2: Einfachschleuse in der nördlichen Nebenöffnung (NÖ1)

Im Vergleich zum Bauablauf der Gesamtvariante A.1 muss hier der vorhandene Kolkschutz abgetragen werden. Soweit erforderlich sind Sinkstücke zu ergänzen. Danach können die Baugrubenspundwände eingebracht werden. Der weitere Bauablauf erfolgt wie der Bau der Schleuse bei der Gesamtvariante A.1.

#### Bauphase 3: Herstellung der Schleusenvorhöfen sowie Inbetriebnahme der Schleuse

Wie bei der Gesamtvariante A.1 sind die Vorhafenspundwände und die Dalben zu errichten. Auch hier ist auf der Nordseite teilweise eine Rückverankerung der Spundwand zur Stützung der Böschung erforderlich.

#### Bauphase 4: Bewegliche Schwelle in der Hauptschifffahrtsöffnung

##### *Bauphase 4 a:*

Herstellung von Schwellenpfeilern vor den Strompfeilern 1 und 2.

Die Arbeiten beginnen mit Abtragen des vorhandenen Kolkschutzes, der ggf. notwendigen Ergänzung von Sinkstücken und dem Einbau der Baugrubenspundwände mit Aussteifung. Der weitere Bau der Schwellenpfeiler erfolgt wie

bei der Gesamtvariante A.1. Die Schifffahrt kann weiterhin die Hauptschiff-fahrtsöffnung passieren, jedoch muss die Durchfahrtsbreite etwas eingeschränkt werden.

*Bauphase 4 b:*

Herstellung des Drempels für die bewegliche Schwelle in der Hauptschiff-fahrtsöffnung einschließlich Einbau des Drehsegmentes.

Für die Herstellung des Drempels ist die Sperrung der Hauptschifffahrtsöffnung erforderlich. Um während der Sperrzeit nicht nur auf die Nutzung der bereits fertig gestellten Schleuse angewiesen zu sein, kann die Binnenschifffahrts-öffnung durch Ausbau des Verschlusses und Ausbau der Brücke hergerichtet werden. Der Schifffahrt stehen dann zwei Durchfahrtsöffnungen zur Verfügung, nämlich einerseits die Schleuse und andererseits die Durchfahrt durch die BSÖ. In beiden Fällen ist die Drempelhöhe auf NN -7,0 m beschränkt.

Die Herstellung des Drempels erfolgt wie bei der Gesamtvariante A.1 beschrieben. Ggf. sind Sonderbauweisen zur Beschleunigung der Bauarbeiten erforderlich, um die Sperrzeit möglichst klein zu halten.

Bauphase 5: Bewegliche Schwelle in der Binnenschifffahrtsöffnung

*Bauphase 5 a:*

Herstellung eines weiteren Schwellenpfeilers vor dem Strompfeiler zwischen Binnenschifffahrtsöffnung und 1. südlicher Nebenöffnung, Der Bau des Schwellenpfeilers erfolgt wie zuvor beschrieben.

*Bauphase 5 b:*

Herstellung des Drempels für die bewegliche Schwelle der Binnenschifffahrts-öffnung. Diese Arbeiten können erst nach Freigabe der Hauptschifffahrts-öffnung beginnen. Die Herstellung erfolgt wie beim Drempel in der Haupt-schifffahrtsöffnung.

Bauphase 6: Errichtung der festen Schwellen in den Nebenöffnungen 2 – 5

*Bauphase 6 a:*

Bau der Spundwandschwellen. Diese Arbeiten beginnen mit dem Abtragen des vorhandenen Kolkschutzes bis auf das Sinkstück. Danach wird die Spundwand gerammt, der Kolkschutz wieder eingebaut, angeglichen und abschließend wird der Teilverguss eingebracht. Im Zuge der Spundwandherstellung ist auch ein Anschluss an den Strompfeiler 3 zu erstellen.

*Bauphase 6 b:*

Errichtung der Schüttdämme als feste Schwelle. Parallel zur Nebenöffnung 2 bis Nebenöffnung 5 wird der vorhandene Kolkschutz in der Dammaufstands-fläche bis auf das Sinkstück abgetragen. Die Sinkstücke werden soweit er-forderlich ergänzt und der Kern aus Sandcontainern wird aufgesetzt. Nach Aus-

gleichen der Unebenheiten mit Schotter kann das Deckwerksmaterial aufgebracht und teilvergossen werden.

Die Baumaßnahmen sind abgeschlossen.

### 5.2.3 Bauablauf Variante B.2

Der Bauablauf der Gesamtvariante B.2 ist vergleichbar zum Bauablauf der Variante B.1. Auf eine detaillierten Beschreibung wird deswegen hier verzichtet.

## 5.3 Bewertung der Gesamtvarianten

Die Bewertung der Gesamtvarianten erfolgt gemäß den folgenden Grundsätzen:

- Technische Sachverhalte, die bereits auf der Ebene der Detailvarianten beurteilt sind, werden im Rahmen der Gesamtvarianten nicht erneut bewertet. Die jeweils beste Teilvariante wird zu baulichem Bestandteil der Gesamtvarianten.
- Ziele oder Bedingungen, die alle Varianten gleichermaßen erfüllen, werden bei der vergleichenden Betrachtung nicht berücksichtigt, da sie nicht zu Differenzierung beitragen.
- Für den Planungsstand dieser Studie ist eine vergleichende Wertung in Form von Bewertungsindikatoren angemessen. Sie erleichtern die relative Bewertung der Varianten zueinander. Folgende Bewertungsindikatoren werden verwandt:
  - + = tendenziell positiv zu bewerten
  - o = akzeptabel
  - = tendenziell negativ zu bewerten.

### Bewertungskriterien für Gesamtvarianten

In den folgenden Bewertungskriterien ist eine differenzierende Beurteilung der vorgestellten Gesamtvarianten möglich.

- *Technische Qualität*
  - \* Robustheit bei Ausfall einer beweglichen Schwelle in Bezug auf die dadurch entstehende Strömungssituation
  - \* Maximierung des Tidefensters für Schiffspassagen durch die geöffnete bewegliche Schwelle
  - \* Redundanz der beweglichen Schwellen
  - \* Erreichbarkeit der Schleusen für die Versorgung von Land aus
  - \* Bauzeitbedingte Einschränkungen der Werftüberführungen
  - \* Unterhaltungsbaggerung der neu zu gestaltenden Fahrwasserabschnitte

- *Nautische Qualität*
  - \* Erreichbarkeit der Schleusenvorhöfen für die Schifffahrt
  - \* Leichtigkeit und Sicherheit der Schifffahrt bei der Durchfahrt von geöffneten Schwellen bzw. gelegter Schwellen und Sperrwerk
  - \* Stauresistenz bzw. Redundanz oder Erweiterungsfähigkeit der Schleusen
  - \* Beeinträchtigung der Durchführung von Werftschiffsüberführungen durch den geringen Abstand der Schleusenvorhofen- und Schleusenwände zur Hauptschifffahrtsrinne
- *Beeinflussung des Sperrwerksbetriebs*
  - \* Erreichbarkeit der Pfeiler
  - \* Qualität des Sturmflutschutzes
- *Kosten*
  - \* Investitionskosten der Bauwerke
  - \* Unterhaltungs- und Wartungskosten der Bauwerke

#### Zu vergleichende Varianten

Die folgenden Varianten werden in einer vergleichenden Betrachtung gegenübergestellt.

- Gesamtvariante A.1
- Gesamtvariante B.1
- Gesamtvariante B.2-1, hierbei handelt es sich um die Untervariante 1 mit beweglicher Schwelle in der Hauptschifffahrtsöffnung und Binnenschifffahrtsöffnung. Es wird diese Untervariante gewählt, um eine Vergleichbarkeit mit der Gesamtvariante B.1 in Bezug auf die Qualität der beweglichen Schwellen herzustellen.
- Gesamtvariante B.2-2, dabei handelt es sich um die Untervariante 1 kombiniert mit der Untervariante 2 (beweglichen Schwelle auch in der Binnenschifffahrtsöffnung und Einsatz von Sektortoren als Schleusentore).

Die beiden verschiedenen Varianten zur Gesamtvariante B.2 werden deswegen in die Bewertung aufgenommen, weil gemäß der Bewertung der Teilvarianten eine Entscheidung über den Einsatz der Schleusentore auf der Ebene der Gesamtvarianten getroffen werden sollte.

### **5.3.1 Technische Qualität**

#### Robustheit bei Ausfall einer beweglichen Schwelle in Bezug auf die dadurch entstehende Strömungssituation

Kommt es zu einem Ausfall der beweglichen Schwelle, sind zwei Grenzfälle zu unterscheiden:

- *Fall 1:* Die Schwelle verbleibt in Hochstellung und kann nicht mehr geöffnet werden. In diesem Falle ändert sich die Strömungssituation nicht. Allerdings kann dann die Schifffahrt auch bei Tidehochwasser nicht mehr das Sperrwerk über die bewegliche Schwelle passieren, sondern ist auf die Nutzung der Schleuse angewiesen, was zu Wartezeiten vor der Schleuse führen kann.
- *Fall 2:* Die Schwelle kann im abgesenkten Zustand nicht mehr angehoben werden. Bei dieser Situation entsteht während des Niedrigwassers eine Strömungskonzentration auf den verbliebenen offenen Querschnitt der Schwelle, die mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten verbunden ist und demzufolge – falls lange anhaltend – auch zu Schäden im Kolkenschutz führen kann. Entsteht diese Situation bei den Gesamtvarianten B.1 oder B.2 besteht dann aber die Möglichkeit, den zugehörigen Sperrwerksverschluss zu schließen, so dass Schäden am Kolkenschutz der Bauwerke vermieden werden können und eine Reparatur des Schwellenverschlusses im strömungsberuhigten Bereich, also im Schutz der Sperrwerksverschlüsse, erfolgen kann.

Die Varianten können bei diesem Kriterium wie folgt bewertet werden:

- B.1 und B.2 sind tendenziell positiv zu bewerten
- A.1 ist tendenziell negativ zu bewerten.

#### Maximierung des Tidefensters für Schiffspassagen durch die geöffnete bewegliche Schwelle

Bei geringen Wasserspiegeldifferenzen ober- und unterhalb der Schwelle können die beweglichen Teilabschnitte des Schwellenbauwerkes geöffnet werden. Abschätzungen auf Basis der Modelluntersuchung der Bundesanstalt für Wasserbau zeigen, dass in einem Zeitfenster von etwa 4 Stunden während der Hochwasserphase die Wasserspiegeldifferenzen kleiner als 0,2 m sind, wodurch die Strömungsgeschwindigkeiten im Querschnitt der geöffneten Schwelle kleiner als rund 3,5 kn bleiben. Diese Fließgeschwindigkeit ist für die Schifffahrt akzeptabel.

Zur Bewertung kommt bei diesem Kriterium die Größe des beweglichen gestalteten Schwellenabschnitts. Je größer die dadurch freigegebene Öffnung ist, desto geringer wird die Fließgeschwindigkeit nach Öffnung des Verschlusses bzw. desto größer, kann das Zeitfenster werden, in dem eine Schifffahrt durch die gelegte Schwelle möglich ist.

Die Variante A.1 hat eine bewegliche Schwellenlänge von 75 m bei einer Drempttiefe von NN -9,0 m. Die Varianten B.1 und B.2 sehen bewegliche Schwellen von 60 m, für die Hauptschiffahrtsöffnung und 50 m für die Binnenschiffahrtsöffnung vor.



*Bewertungsergebnis:*

- Aufgrund der redundanten Ausführung mit zwei beweglichen Schwellen in der Haupt- und Binnenschifffahrtsöffnung werden die Varianten B.1 und B.2 als tendenziell positiv bewertet.
- Im Vergleich dazu ist die Variante A.1 akzeptabel, weil hier der Einzelquerschnitt etwas kleiner ist.

Die vorgenannten Einschätzungen sollten in jedem Fall bei weiterer Konkretisierung der Planung mit einem numerischen Modell untersucht und überprüft werden.

Redundanz der beweglichen Schwellen

Fällt eine bewegliche Schwelle aufgrund eines Störfalls aus, so bieten die Gesamtvarianten mit zwei Schwellen den Vorteil, dass nach wie vor eine Öffnung für den Schiffsverkehr zur Verfügung steht. Steht hingegen nur ein bewegliches Schwellenelement zur Verfügung und dieses fällt in der Sperrposition aus, kann die Schifffahrt das Sperrwerk und die Schwelle nur mittels Schleusung passieren.

*Bewertung:*

- Die Variante A.1 wird mit akzeptabel bewertet, weil hier nur eine Schwelle möglich und sinnvoll ist.
- Die Varianten B.1 und B.2 werden mit tendenziell positiv bewertet, weil hier zwei Schwellen realisiert werden können.

Erreichbarkeit der Schleusen für die Versorgung von Land aus

Bei den Varianten A.1 und B.1 ist ein direkter Zugang zur Schleuse vom Nordufer aus gegeben. Bei der Variante B.1 verbindet sich dieser sogar mit dem schon vorhandenen Zugang zum Sperrwerk. Insbesondere im letztgenannten Fall entsteht als positiver Nebeneffekt ein attraktiver Platz für die Öffentlichkeit.

Bei der Variante B.2 muss eine eigene Erschließung von der Südseite geschaffen werden, da die Schleuse nur über die Brücken der südlichen Nebenöffnungen 3 bis 5 erreichbar ist.

*Bewertung:*

- Die Variante A.1 wird mit akzeptabel bewertet.
- Die Variante B.1 ist tendenziell positiv zu bewerten.
- Die Variante B.2 ist tendenziell negativ zu bewerten.

### Bauzeitbedingte Einschränkungen der Werftüberführungen

Wie in Abschnitt 5.2 kommt es während des Baus der beweglichen Schwellen im Querschnitt der Hauptfahrrinne zu Sperrungen.

Bei der Variante A.1 ist es möglich, den Verkehr während des Baus an der beweglichen Schwelle vorbei, also südlich der Baustelle, zu leiten. Außer dass damit zusätzliche Baggerkosten verbunden sind, gibt es keine weiteren Einschränkungen für die Schifffahrt.

Bei den Varianten B.1 und B.2 muss die Hauptschifffahrtsöffnung für den Bau der beweglichen Schwelle geschlossen werden. Während dieser Zeit kann ersatzweise die Binnenschifffahrtsöffnung hergerichtet werden und kann die Bauzeit der beweglichen Schwelle durch Sonderverfahren so weit wie möglich minimiert werden.

#### *Bewertung:*

- Die Variante A.1 ist mit den geringsten Einschränkungen verbunden und wird deswegen tendenziell positiv bewertet.
- Die Varianten B.1 und B.2 erfordern einen größeren Aufwand für die Vereinbarkeit von Werftüberführungen mit dem Bau der Schwelle und werden nur mit akzeptabel bewertet.

### Unterhaltungsbaggerung der neu zu gestaltenden Fahrwasserabschnitte

Mit der Realisierung der Varianten A.1 und B.1 wäre eine Fahrrinnenverlegung bzw. Aufweitung nach Norden verbunden. Zur Zeit werden insbesondere im Bereich der geplanten Schleuse der Variante B.1 Auflandungstendenzen beobachtet. D.h. die zur Zeit ablaufende natürliche morphologische Entwicklung in diesem Abschnitt führt offensichtlich zu einer Verlagerung der Hauptrinne in Richtung Emsmitte. Weil die Variante A.1 deutlich weiter östlich, d.h. dichter an der Oldersumer Kurve liegt, ist hier mit weniger Auflandung zu rechnen, weil insbesondere die oberstromige Zufahrt zur Schleuse noch im Bereich der Außenkurve liegt.

Die Variante B.2 partizipiert tendenziell von der genannten morphologischen Entwicklung und wird deswegen vermutlich mit vergleichsweise geringen Unterhaltungsbaggerungen verbunden sein.

#### *Bewertung:*

- Die Variante A.1 und B.2 werden mit akzeptabel bewertet.
- Die Variante B.1 ist tendenziell negativ.

Zur besseren Einschätzung der zu erwartenden Unterhaltungsbaggerungen sind weitergehende morphologische Untersuchungen im numerischen Modell sinnvoll.

### 5.3.2 Nautische Qualität

Die hier dargestellte erste Bewertung der nautischen Qualität beruht auf einer ausführlichen Diskussion der entsprechenden Sachverhalte mit den Nautikern des Wasser- und Schifffahrtsamtes Emden. Gleichwohl sind die Fahrsituationen, die durch die Einfahrten in die Schleusen der Schwellenbauwerke entstehen, aufgrund der Tidenströmungen teilweise ungewöhnlich und verlassen deswegen die aufgrund von Erfahrungen einfach einzuschätzenden Bereiche. Vor einer abschließenden Beurteilung ist es deswegen zwingend erforderlich, Fahrversuche in einem Simulator durchzuführen, bei denen auch die veränderte Strömungssituation infolge der Schwelle berücksichtigt werden kann.

#### Erreichbarkeit der Schleusenvorhöfen für die Schifffahrt

Grundsätzlich gilt, dass für ein mit dem Tidestrom fahrendes Schiff die Einfahrt in die Schleusenvorhöfen wegen der hohen Geschwindigkeiten über Grund schwieriger ist als für die Fahrt gegen den Strom. Bei nicht erfolgreichen Manövern wird das Schiff durch die Strömung gegen die Strukturen des Vorhafens bzw. der Schleuse getrieben. Diese besonderen nautischen Herausforderungen berücksichtigend, können folgende grundsätzliche Bewertungseinschätzungen für die einzelnen Varianten gegeben werden.

- *Variante A.1:* Die oberstromige Zufahrt in den Schleusenvorhafen ist bei Ebbestrom ausgesprochen schwierig, da die Schiffe aus einer Kurvenfahrt in den Schleusenvorhafen einfahren müssen und dabei leicht seitlich vertrieben und verdreht werden. Auf der unterstromigen Seite führt der kurze Abstand zwischen Vorhafeneinde und Sperrwerk zu einer schwierigen Kurvenfahrt.
- *Variante B.1:* Auf der oberstromigen Seite ist die Zufahrt in den Schleusenvorhafen vergleichsweise einfach möglich, da die Schiffe auf einem weitgehend gradlinigen Kurs gehalten werden. Auf der unterstromigen Seite entsteht eine vergleichsweise schwierige nautische Situation bei Flutstrom, wenn Schiffe von Emden kommend aus einer Kurvenfahrt heraus bei der starken durch die Hauptschifffahrtsöffnung setzenden Strömung die Einfahrt in die Schleuse erreichen wollen. Hier besteht die Gefahr, dass die Schiffe vor der Schleuseneinfahrt verdreht und durch die Strömung gegen die Strukturen vertrieben werden.
- *Variante B.2:* Wird die in die Diskussion gebrachte Fahrrinnenverlegung unterstrom des Sperrwerkes durchgeführt, so besteht die Möglichkeit, aus einer Geraden heraus die Zufahrt zum Schleusenvorhafen zu erreichen. Unter dieser Voraussetzung ist die Variante B.2 positiver zu beurteilen als die Variante B.1, weil sie in Bezug auf die unterstromige Schleusenzufahrt ein-

facher ist. Die oberstromige Seite ist bei der Variante B.2 ähnlich positiv wie bei Variante B.1.

*Bewertung:*

- Die Varianten A1 und B.1 werden tendenziell negativ bewertet.
- Die Variante B.2 wird akzeptabel bewertet.

Leichtigkeit und Sicherheit der Schifffahrt bei der Durchfahrt von gelegter Schwelle und Sperrwerk

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die Durchfahrt durch zwei Bauwerke hintereinander schwieriger ist als durch ein Bauwerk. Deswegen ist die Variante A.1 deutlich ungünstiger als die Varianten B.1 und B.2 zu bewerten, da bei diesen beiden Sperrwerk und Schwelle quasi lageidentisch sind.

Bei den Varianten A.1 und B.1 ergeben sich zusätzliche Behinderungen durch die dicht an der Fahrrinne liegende Schleuse und deren Schleusenvorhöfen. Dies ist als Beeinträchtigung der Leichtigkeit und Sicherheit des Schiffsverkehrs zu werten. Der Abstand zwischen Schleusenvorhofwand und Fahrrinne beträgt bei der Variante A.1 = 0, bei der Variante B.1 = 15 m und bei der Variante B.2 = 40 m. Allerdings wäre bei der Variante A.1 auch ein Abstand wie bei B.1 erreichbar, allerdings verbunden mit höheren Kosten für die Sicherung und Stützung der Uferböschung.

*Bewertung:*

- Varianten A.1 und B.1 tendenziell negativ
- Variante B.2 akzeptabel.

Stauresistenz bzw. Redundanz oder Erweiterungsfähigkeit der Schleusen

Die derzeitigen Bedarfseinschätzungen gehen davon aus, dass eine Schleuse in Verbindung mit den geöffneten Schwellen ausreichend ist. Naturgemäß ist die Prognose des langfristig zu erwartenden Verkehrsaufkommens schwierig. Deswegen soll bei diesem Kriterium beurteilt werden, ob es vergleichsweise einfach möglich ist, eine zweite Schleusenkammer zu errichten.

Bei den Varianten A.1 und B.1 ist dies nur sehr aufwendig möglich, da eine weitere Schleusenkammer auf der gegenüberliegenden Seite des Hauptfahrwassers angeordnet werden müsste. Die Variante B.2 bietet die Möglichkeit, eine zweite Schleusenkammer direkt neben der geplanten anzuordnen, so dass hier eine Doppelkammerschleuse entstünde. Diese ist allerdings nur bei dem Einsatz von Stemmtorverschlüssen möglich, da bei Einsatz der Sektortore zuviel Platz verbraucht wird.

*Bewertung:*

- Variante A.1 und B.1: tendenziell negativ
- Variante B.2-1, Untervariante Stemmtore, akzeptabel,
- Variante B.2-2, Untervariante Sektortore, tendenziell negativ

Beeinträchtigung der Überführung von Werftschiffen durch geringen Abstand zwischen Schleusenvorhafenwänden und Hauptschifffahrtsrinne

Vergleichbar zur Bewertung bei dem Kriterium „Leichtigkeit und Sicherheit der Schifffahrt bei der Durchfahrt von gelegter Schwelle und Sperrwerk“ geht in diese Bewertung der Abstand zwischen Vorhafen- und Schleusenwände ein. Verlaufen diese dicht entlang der Fahrrinne, so besteht insbesondere für die Überführung der sehr großen Werftschiffe ein erhöhtes Risiko der Kollision mit den Wänden. Bei diesem Kriterium wird deswegen die Größe des Abstandes zwischen den Vorhafenwänden und der Hauptschifffahrtsrinne beurteilt.

Der Abstand zwischen Schleusenvorhafenwand und Fahrrinne beträgt bei der Variante A.1 = 0, bei der Variante B.1 = 15 m und bei der Variante B.2 = 40 m. Allerdings wäre bei der Variante A.1 auch ein Abstand wie bei B.1 erreichbar, allerdings verbunden mit höheren Kosten für die Sicherung und Stützung der Uferböschung. Im Ergebnis ist also Variante B.2 deutlich besser als die beiden anderen Varianten zu beurteilen.

*Bewertung:*

- Varianten A.1 und B.1 tendenziell negativ.
- Variante B.2 akzeptabel.

### 5.3.3 Beeinflussung des Sperrwerksbetriebs

Erreichbarkeit der Pfeiler

Bei diesem Kriterium wird eine mögliche Beeinflussung des Sperrwerksbetriebs, insbesondere der durchzuführenden Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten bewertet.

- Bei der Variante A.1 besteht keine Beeinflussung, da hier die Schwelle rund 800 m oberhalb des Sperrwerkes liegt.  
Bewertung: tendenziell positiv
- Bei der Variante B.1 ist der Pfeiler 1 zwischen nördlicher Nebenöffnung und Hauptschifffahrtsöffnung nur noch über die Brücken der Stemmtorpaare erreichbar. Im Vergleich zum heutigen Zustand könnten sich daraus Einschränkungen bei der zulässigen Brückenlast bzw. bei den Abmessungen der Fahrzeuge, mit denen der Pfeiler 1 erreicht werden kann, ergeben. Insgesamt

werden die Einschränkungen aber als gering eingeschätzt, so dass die Variante B.1 als Bewertung ein „akzeptabel“ erhält.

Die Variante B.2 ist bei diesem Kriterium in die Untervarianten zu differenzieren.

- Bei der ersten Untervariante sind die Pfeiler 2 und 3 des Sperrwerkes nur noch über die Brücken der Stemmtorpaare erreichbar. Ähnlich wie bei B.1 könnten damit Einschränkungen verbunden sein, so dass diese Untervariante zu B.2 mit „akzeptabel“ bewertet wird.
- Die Untervariante Sektortore zur Gesamtvariante B.2: diese Schleusentore haben den Vorteil, Brückenkonstruktionen integrieren zu können, die in Bezug auf die Brückenlast wie in Bezug auf die Abmessungen keinen Einschränkungen unterliegen. Deswegen wird diese Untervariante tendenziell positiv bewertet.

#### Qualität des Sturmflutschutzes

- Die Gesamtvariante A.1 ist tendenziell positiv zu bewerten, weil wegen der abgesetzten Lage keine Interaktion zwischen Schwellenbauwerk und Sperrwerk besteht.
- Bei der Variante B.1 ist die Schleuse mit einem separaten Stemmtorpaar allein für die Kehrung der Sturmfluten ausgestattet. Damit ist eine im Vergleich zum heutigen Zustand gleichwertige Situation gegeben. Diese separaten Sturmflutschutztore unterliegen keiner besonderen Gefährdung durch die Schifffahrt, da sie in Nischen liegend nur für den Sturmflutfall eingesetzt zu werden brauchen. Die Variante wird deswegen mit einem „tendenziell positiv“ bewertet.
- Die Variante B.2 gliedert sich in die beiden Untervarianten „Schleuse mit Stemmtoren“ und „Schleusen mit Sektortoren“ auf. Die Untervariante „Schleuse mit Stemmtoren ist bezüglich dieser Bewertung identisch mit der Variante B.1, so dass sich hier eine gleiche Bewertung mit „tendenziell positiv“ ergibt.
- Bei der Untervariante Sektortor in der Schleuse zur Gesamtvariante B.2 ist auf der unterstromigen Seite nur ein Schleusentorpaar vorgesehen. Dieses Schleusentorpaar gewährleistet auch den Sturmflutschutz und wird nach Unterstrom durch einen besonderes Bauteil gegen Schiffsstoß gesichert.
- . Gleichwohl ist diese Form der Sicherung nicht gleichwertig zu einem separaten Tor, welches nur für den Sturmflutfall bewegt zu werden braucht. Deswegen wird diese Lösung bei diesem Kriterium mit „akzeptabel“ bewertet.

### 5.3.4 Kosten

#### Investitionskosten

Die ermittelten Netto-Baukosten betragen auf volle Mio. gerundet, die in der Tabelle 5-7 genannten Werte.

Tabelle 5-7: Übersicht über die Investitionskosten (netto) der bewerteten Varianten

Variante	Baukosten (netto)
Variante A.1	138 Mio. €
Variante B.1	157 Mio. €
Variante B.2-1	160 Mio. €
Variante B.2.-1/2	165 Mio. €

#### **Varianten:**

- A.1 Schwelle oberhalb des Sperrwerkes mit beweglicher Schwelle in der Fahr-  
rinne und Schleuse am nördlichen Ufer
- B.1 Schwelle im Sperrwerksquerschnitt mit beweglicher Schwelle in HSÖ und  
BSÖ sowie Schleuse in NÖ1
- B.2-1 Schwelle im Sperrwerksquerschnitt mit beweglicher Schwelle in HSÖ und  
BSÖ sowie Schleuse in NÖ2
- B.2-1/2 wie B.2-1 jedoch mit Sektortoren statt Stemmtoren

Bei den B.2 Varianten ist die Möglichkeit gegeben, in der Schleuse Sektortore statt Stemmtore einzusetzen. Für die Sektortore erhöhen sich die Baukosten um rd. 4,5 Mio. €(netto) im Vergleich zu den Stemmtoren.

Bei den Varianten B.1 und B.2 wurde die Ausstattung der Binnenschifffahrtsöffnung mit sowohl mit fester als auch beweglicher Schwelle untersucht. Die Kosten für eine bewegliche Schwelle in der Binnenschifffahrtsöffnung im Vergleich zu einer festen Schwelle betragen rd. 15 Mio. € Die Kosten für Variante B.1 und B.2 in der Tabelle 5-7 beinhalten die beweglichen Schwellen in HSÖ und BSÖ.

#### Unterhaltungs- und Wartungskosten

Der derzeitige Detaillierungsgrad der Planung lässt keine Differenzierung bei den Unterhaltungs/Wartungskosten zwischen den Gesamtvarianten zu. Sie können also nicht für eine differenzierende Bewertung herangezogen werden.

### 5.3.5 Zusammenfassende Bewertung

Die Bewertung ist in der nachfolgenden Tabelle 5-8 zusammenfassend dargestellt. Den verschiedenen Bewertungskategorien wird eine unterschiedliche Priorität wie folgt zugeordnet:

- technische Qualität: mittlere bis fallweise hohe Priorität
- nautische Qualität: sehr hohe Priorität
- Beeinflussung Sperrwerksbetrieb: hohe, zum Teil sehr hohe Priorität
- Kosten: nachgeordnete Priorität.



Tabelle 5-8: Tabellarische Zusammenfassung der Bewertung

<b>Bewertungskategorie: technische Qualität</b>					
<b>Wichtung: mittlere, fallweise hohe Priorität</b>					
<b>Bewertungskriterien</b>	<b>A.1</b>	<b>B.1</b>	<b>B.2-1</b>	<b>B.2.1/2</b>	<b>Bemerkungen</b>
Robustheit bei Ausfall einer beweglichen Schwelle in Bezug auf die dadurch entstehende Strömungssituation	-	+	+	+	
Maximierung des Tidefensters für Schiffspassagen durch geöffnete bewegliche Schwelle	o	+	+	+	Weitergehende numerische Modelluntersuchungen erforderlich
Redundanz der beweglichen Schwellen	o	+	+	+	
Erreichbarkeit der Schleusen für die Versorgung von Land aus	o	+	-	-	
Bauzeitbedingte Einschränkungen der Werftüberführungen	+	o	o	o	
Unterhaltungsbaggerung der neu zu gestaltenden Fahrwasserabschnitte	o	-	o	o	Weitergehende morphodynamische Untersuchungen erforderlich
<b>Bewertungskategorie: nautische Qualität</b>					
<b>Wichtung: sehr hohe Priorität</b>					
Erreichbarkeit der Schleusenvorhöfen für die Schifffahrt	-	-	o	o	Fahrdynamische Untersuchungen erforderlich
Leichtigkeit und Sicherheit der Schifffahrt bei der Durchfahrt Schwelle und Sperrwerk	-	-	o	o	Fahrdynamische Untersuchungen erforderlich
Stauresistenz / Redundanz / Erweiterungsfähigkeit der Schleusen	-	-	o	-	Abstimmung mit der Schifffahrt erforderlich
Beeinträchtigung der Überführung von Werftschiffen durch geringen Abstand zwischen Schleusenvorhofenwänden und Hauptschifffahrtsrinne	-	-	o	o	
<b>Bewertungskategorie: Beeinflussung des Sperrwerksbetriebs</b>					
<b>Wichtung: hohe, z.T. sehr hohe Priorität</b>					
Erreichbarkeit der Pfeiler	+	o	o	+	
Qualität des Sturmflutschutzes	+	+	+	o	
<b>Bewertungskategorie: Kosten</b>					
<b>Wichtung: nachgeordnete Priorität</b>					
Investitionskosten Bauwerke	+	o	o	o	
Unterhalts- und Wartungskosten der Bauwerke	o	o	o	o	

**Bewertung**

- + tendenziell positiv
- o akzeptabel
- tendenziell negativ

**Varianten:**

- A.1 Schwelle oberhalb des Sperrwerkes mit beweglicher Schwelle in der Fahr-  
rinne und Einkammerschleuse am nördlichen Ufer
- B.1 Schwelle im Sperrwerksquerschnitt mit beweglicher Schwelle in HSÖ und  
BSÖ sowie Schleuse in NÖ1
- B.2-1 Schwelle im Sperrwerksquerschnitt mit beweglicher Schwelle in HSÖ und  
BSÖ sowie Schleuse in NÖ2
- B.2-1/2 wie B.2-1 jedoch mit Sektortoren statt Stemmtoren

Die Bewertung zeigt im Ganzen ein recht heterogenes Bild. Tabelle 5-9 saldiert die Bewertungsergebnisse ohne Berücksichtigung einer Wichtung.

Tabelle 5-9: Saldierung der Bewertungsergebnisse

	<b>A.1</b>	<b>B.1</b>	<b>B.2-1</b>	<b>B.2.1/2</b>
tendenziell positiv:	4	5	4	4
akzeptabel:	5	4	9	8
tendenziell negativ:	5	5	1	2

Insgesamt kann die Bewertung wie folgt charakterisiert werden:

- Die Variante A.1 schneidet bei der technischen und nautischen Qualität vergleichsweise schlecht ab, obwohl sie gleichzeitig besonders gut in der Rubrik „Beeinflussung des Sperrwerkbetriebs“ wegen der nicht vorhandenen Wechselwirkung mit dem Sperrwerk ist.
- Die Varianten A.1 und B.2 haben ausgeprägte Stärken und Schwächen, während die beiden B.2-Varianten ähnlich positiv aber deutlich häufiger mit akzeptabel bewertet werden.
- In der mit sehr hoher Priorität gewichteten Kategorie „Nautische Qualität“ schneidet die Variante B.2-1 am besten ab.
- In der mit sehr hoher Priorität gewichteten Kategorie „Beeinflussung des Sperrwerkbetriebs“ schneidet die Variante A.1 am besten ab.
- In der mit mittlerer fallweise hoher Priorität gewichteten Kategorie „Technische Qualität“ schneidet die Variante B.1 am besten ab.
- In der mit nachgeordneter Priorität gewichteten Kategorie „Kosten“ schneidet die Variante A.1 am besten ab.

Letztendlich ist die Bewertung noch von vielen offenen Fragen abhängig, die eine erhebliche Bedeutung für die Auswahl haben (siehe auch Spalte „Bemerkung“ in Tabelle 5-8). Weitergehende Untersuchungen müssen diese Fragen klären, um eine abgesicherte Entscheidung für eine der hier betrachteten

Varianten oder ggf. für Weiterentwicklungen dieser Varianten treffen zu können. Die Untersuchungen umfassen:

- Fahrversuche im Schiffssimulator unter Berücksichtigung der geänderten Strömungsverhältnisse zur Überprüfung der nautischen Belange.
- Morphodynamische Modelluntersuchungen zur Abschätzung der zukünftig zu erwartenden Unterhaltungsbaggerung bei Verlagerung der Fahrrinne.
- Untersuchung der beweglichen Schwellen durch Ergänzung der vorhanden numerischen Modelluntersuchung zur Ermittlung der Wirkung auf das für die Schifffahrt zur Verfügung stehende Tidfenster.
- Untersuchung der Stauwirkung der Schwelle (Überprüfung der Wehr-Abflussbeziehung), Ermittlung der Strömungsverhältnisse im Nahfeld des Sperrwerkes und Überprüfung der Betriebsarten durch geeignete Untersuchungsmethoden (z. B. wasserbauliche physikalische Modelluntersuchungen oder für diesen Zweck spezialisierte numerische Modelluntersuchungen).

Die Bewertung schließt mit den folgenden Kernergebnissen ab:

- Der Bau einer Schwelle in der Nähe des Emssperrwerkes bei Gandersum ist technisch machbar.
- Die Konstruktion kann in unterschiedlichen Ausführungen erfolgen. Zur Ermittlung der besten Lösung sind weitere Untersuchungen erforderlich.
- Die Investitionskosten liegen in der Größenordnung von 140 bis 160 Mio. € (netto Baukosten, Preisstand 2008).

## 6 Ergänzende Untersuchung

In diesem Kapitel werden einige im Zuge der Bearbeitung aufgeworfene Fragen beantwortet, die nicht streng genommen zur Untersuchung der bautechnischen Machbarkeit gehören. Sie wurden deswegen auch nicht bei der vorangegangenen Kapiteln dargestellten Bewertung berücksichtigt, sondern sind in diesem Kapitel der Information halber dargestellt.

### 6.1 Überprüfung der Schwellenhöhe

In Kapitel 2.3 wurde bereits für die Überströmung der Schwelle die Ähnlichkeit zwischen der im Modell berechneten Strömungssituation und den in der Natur auftretenden Abflussvorgängen diskutiert. Über der Schwelle entsteht bei Wasserständen in der Größenordnung der Schwellenhöhe eine Wehrüberströmung, die im Tidezyklus die in der Abbildung 2-5 dargestellten Abflusszustände durchläuft (siehe auch Erläuterungen in Abschnitt 2.3).

Aus den Modellberechnungsergebnissen der Bundesanstalt für Wasserbau, die in Form von Zeitreihen eines 14-tägigen Springnippzyklus zur Verfügung gestellt wurden, werden Wertepaare für den Abfluss über das Wehr sowie die zugehörigen Wasserstände im Oberwasser und Unterwasser der Schwelle entnommen. Für einen Vergleich werden (bis auf wenige Ausnahmen) Abflusssituationen mit vollkommenem Überfall herangezogen, weil die Wehrberechnung dafür als abgesichert gelten kann und die Ungenauigkeit durch den Rückstau und den damit verbundenen unvollkommenen Überfall eliminiert wird. Die Wehrüberfallbeziehung nach Polini lautet:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

Hierin sind:

- Q = der Abfluss, der aus der Modellberechnung der BAW entnommen wird,
- $\mu$  = der Überfallbeiwert, der aufgrund von Literaturdaten sinnvoll gewählt wird,
- b = die Überfallbreite gemäß gewählter technischer Lösung und
- h = Überfallhöhe über der Schwellenhöhe (siehe Abbildung 2-5).

Die nach dieser Beziehung ermittelte Überfallhöhe wird in einen Oberwasserstand bezogen auf NN umgerechnet. Die Berechnungsergebnisse zeigt Anlage 2. Im ersten Teil dieser Anlage wurden Abschlussituationen ausgewählt, bei denen der Ebbestrom über der Schwelle zu maximalen Abflusswerten führt. Die Tabelle zeigt in ihrem linken Teil die aus dem Modell übernommenen Werte, geordnet nach Einzelzeitpunkten des Springnippzyklus sowie die zugehörigen Ober-, Unterwasserstände und Abflüsse. Im rechten Teil der Tabelle sind für die drei Grundvarianten die kennzeichnenden Werte für die Schwellenhöhe, für den Überfallbeiwert, die Überfallbreite - also die Wehrlänge - dargestellt.

Nach dieser Beziehung werden die Oberwasserstände berechnet. Für alle drei technischen Varianten ergeben sich höhere Oberwasserstände als durch das numerische Modell berechnet. Die mittlere Abweichung liegt je nach Variante zwischen 22 und 32 cm.

Im zweiten Teil der Tabelle werden aus dem Springnippzyklus die Abflusssituationen bei Tideniedrigwasser im Unterwasser ausgewählt. Diese Wasserstände liegen fast alle deutlich unter der Schwellenhöhe, so dass ein vollkommener Überfall mit Sicherheit gegeben ist. In diesem Fall ergibt sich eine gute Übereinstimmung zwischen den durch das numerische Modell berechneten Oberwasserständen und den Oberwasserständen gemäß Gerinnenhydraulik. Die Abweichungen bleiben im Mittel kleiner als 5 cm. Bei dieser Betrachtung ist in Erinnerung zu rufen, dass das numerische Modell von einer Überfallbreite in der Größe von 254 m ausgeht, die im Vergleich zu den 400 bzw. 425 m der untersuchten Gesamtvarianten deutlich geringer ist.

Zusammenfassend kann der Sachverhalt wie folgt dargestellt werden:

Das numerische Modell überschätzt den Abfluss bzw. unterschätzt die Oberwasserstände deutlich. Die dafür verantwortlichen Ursachen sind in Kapitel 2.3 dargestellt. Die gewählte technische Lösung mit einer deutlich größeren Überfallbreite kompensiert diesen Effekt und stellt sicher, dass insbesondere bei Niedrigwasser die Rückstaueffekte im Oberwasser der Schwelle, also in der Unterems, wie im numerischen Modell berechnet, erzeugt werden. Damit sind die vorgestellten Varianten geeignet, die durch die Bundesanstalt für Wasserbau mittels numerischer Untersuchung prognostizierten Wirkungen auf den Sedimenttransport zu erreichen.

## 6.2 Überprüfung der Sperrwerksfunktion „Ablassen nach Aufstau“

Für den Staufall werden in der Unterems oberhalb des Sperrwerkes in einer Staulamelle zwischen NN +1,70 m (etwa mittleres Tidehochwasser in diesem Abschnitt) bis NN +2,70 m Wasser aus dem Oberwasser und anderen Zuflüssen aufgestaut. Das aufgestaute Wasservolumen beträgt nach Angaben des NLWKN 22 – 23 Mio. m<sup>3</sup>, nach Angabe der Bundesanstalt für Wasserbau 17 Mio. m<sup>3</sup>.

Das Ablassen des Stauvolumens beginnt vor Tidehochwasser in einem ausreichend großen Zeitfenster, um bei Tidehochwasser ausgespiegelte Verhältnisse am Sperrwerk herzustellen und die Schiffsüberführung durchführen zu können. Für das Absenken von NN +2,70 m auf NN +1,70 m steht ein Zeitraum von ca. 3 Stunden zur Verfügung.

Geht man von 23 Mio. m<sup>3</sup> Volumen aus, so ergibt sich ein mittlerer Abfluss von rund 2.200 m<sup>3</sup>/s. Für den Abfluss stehen nach Errichtung der Schwelle alle Sperrwerksöffnungen bis auf die Hauptschiffahrtsöffnung und die durch die Schleuse blockierten Nebenöffnung zur Verfügung. Die Durchflussbreite liegt

somit zwischen 290,5 und 304 m. Während des Ablassens beträgt die mittlere Fließgeschwindigkeit über der Schwelle rund 2 m/sek. Diese Geschwindigkeit ist zu gering, um eine signifikante Drosselwirkung durch die Schwelle zu erzeugen, so dass die Stauraumentleerung unbeeinflusst von der Schwelle durchgeführt werden kann.

Bei Wasserständen kleiner als NN +1,70 m entsprechen die Verhältnisse denen der numerischen Modelluntersuchung.

Die dargestellte Abschätzung zeigt, dass eine Beeinflussung des Sperrwerksbetriebsfall „Ablassen nach Aufstau“ durch die Schwelle nicht gegeben ist.

### 6.3 Überprüfung Sturmflutentlastung

Um bei besonders hoch auflaufenden Sturmfluten die Wasserstände zu kappen, wurde für das Sperrwerk ein Betriebsfall entwickelt, bei dem ca. 10 Mio. m<sup>3</sup> Wasser innerhalb von 2 Stunden durch das Sperrwerk in die Unterems, also nach oberstrom, geleitet werden. Bei diesem Szenario soll es nach Berechnung der BAW-DH zu einer Kappung des Sturmflutwasserstandes um drei Zentimeter kommen. Nach dem Schließen des Sperrwerks zur Kehrung der Sturmflut werden einzelne Verschlüsse bei Erreichen eines Außenwasserstandes von NN +5,80 m für zwei Stunden geöffnet, so dass der Binnenwasserstand während der Entlastungsphase von NN +3,50 m auf rund NN +3,90 m ansteigen wird.

Der mittlere Abfluss beträgt rund 1.400 m<sup>3</sup>/s. Durch die relativ hohen Wasserstände steht ein großer Fließquerschnitt über der Schwelle zur Verfügung, so dass die Fließgeschwindigkeit über der Schwelle deutlich kleiner ist als 1 m/s verbleibt.

Bei den Varianten B.1 und B.2 mit einem Schwellenbauwerk in der Sperrwerksachse sind feste Schwellen in Dammbauweise 30 m oberhalb der Sperrwerksachse vorgesehen. Das Öffnen der Schütze des Sperrwerkes führt zu einem Strömungsstrahl, der entlang der Sohle nach rund 20 m auf das Schwellenbauwerk trifft. Dieser Strahl hat zunächst eine hohe Fließgeschwindigkeit. Weil er aber eingestaut ist - also unter Wasser liegt - erfolgt ein schneller Abbau der Strahlfließgeschwindigkeit durch Turbulenz. Für die verbleibende Belastung aus Strömungsgeschwindigkeit und Turbulenz ist das teilvergossene Deckwerk des Damms ausreichend stark ausgelegt. Es entspricht im übrigen dem Aufbau des vorhandenen Kolksschutzes am Sperrwerk, welcher ja für die Belastungen aus dem Strahl unter den Schützen ausgelegt wurde. Der Bestand der Schwelle ist durch dieses Szenario nicht gefährdet.

## 6.4 Möglichkeiten zur Errichtung der Doppelkammerschleuse

Teil der Aufgabenstellung war es, zu ermitteln, ob es auch möglich ist, eine Doppelkammerschleuse in die Schwelle zu integrieren. Die damit verbundenen Investitionskosten sollten ermittelt werden.

Abbildung 6-1 zeigt den Lageplan der Gesamtvariante B.2 mit der Untervariante 3 Doppelkammerschleuse.

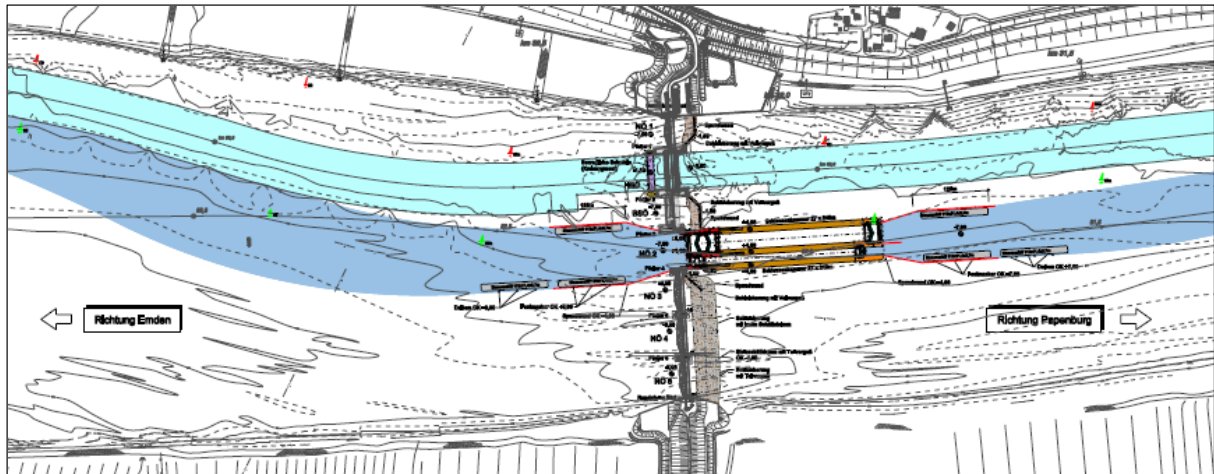


Abbildung 6-1: Lageplan der Gesamtvariante B.2 mit der Untervariante 3 - Doppelkammerschleuse

Diese Variante ist auch auf den Zeichnungen 90122-S-B1-03 und 06 dargestellt. Sie entspricht der Grundvariante B.2, bei der eine bewegliche Schwelle in der Hauptschiffahrtsöffnung sowie feste Schwellen in allen übrigen Öffnungen vorgesehen sind. Die Doppelkammerschleuse hat folgende Spezifikationen:

- Die beiden Kammern haben nutzbare Abmessungen von 225 x 27 m und 225 x 12,5 m.
- Die Drempeltiefe liegt bei NN -7,0 m. Die Schleuse wird mit Stemmtooren ausgestattet, die nach oberstrom kehren.
- Für das Unterhaupt ist ein separates Sturmflutschutzstemma nach unterstrom kehrend vorgesehen. Die Schleusenkammern erhalten Stoßschutz jeweils auf den Binnenseiten der Häupter.

Bei der Variante B.2 ist im Vergleich zu den Gesamtvarianten B.1 und A.1 eine Doppelkammerschleuse möglich, weil die Nebenöffnung 2 mit 63,5 m genügend breit ist. Eine Doppelkammerschleuse bei der Variante A.1 wäre extrem aufwendig, weil hierfür Uferfläche in Anspruch genommen werden müsste.

Die Investitionskosten der Untervariante 3 sind in Tabelle 6-1 dargestellt. Die Kostenschätzung schließt mit Nettobaukosten in Höhe von rund 192 Mio. € ab.

Vergleicht man diese Baukosten mit denen der Variante B.2 in Gestalt der Untervariante 1 mit Einkammerschleuse und ebenfalls einer fester Schwelle nur in der Hauptschiffahrtsöffnung, deren Gesamtkosten sich auf rund 145 Mio. € belaufen, so verursacht die zweite Schleusenkammer Zusatzkosten in der Größenordnung von 47 Mio. €

Tabelle 6-1: Investitionskosten der Variante B.2 mit der Untervariante 2 Doppelkammerschleuse

Leistung	Menge	ME	EP	GP in €
Schleuse 27m mit Fangedamm, hydr. offener Sohle, 6 Stemmtorer	1	St	93.375.000	93.375.000
Mehrkosten für angrenzende Schleuse 12,5m				
mit Fangedamm, hydr. offener Sohle, 6 Stemmtoren	1	St	39.038.000	39.038.000
<b>Summe: Doppelschleuse in NÖ2</b>				<b>132.413.000</b>
Kreisdrehsegment über 60 m UK NN-9,0m	1	St	15.188.000	15.188.000
<b>Summe: Bewegliche Schwelle</b>				<b>15.188.000</b>
<b>Summe: Festeschwellen</b>				<b>2.894.000</b>
Freistehende Vorhafenwand	750	m	9.000	6.750.000
Stahlbauliche Ausrüstung Vorhäfen	1	psch	281.000	281.000
Dalbenliegeplatz inkl. Ausrüstung im Vorhafen	2	St	84.500	169.000
Nassbaggerarbeiten zur Herstellung der Vorhäfen und Zufahrten	122.300	m <sup>3</sup>	19	2.324.000
<b>Summe: Vorhäfen</b>				<b>9.524.000</b>
<b>Summe Bautechnik UV - B.2.c</b>				<b>160.019.000</b>
<b>Zuschläge</b>				
Technische Bearbeitung				8.000.950
Nicht einzeln erfasste Leistungen				24.002.850
<b>Summe: Zuschläge</b>				<b>32.003.800</b>
<b>Endsumme UV - B.2.c</b>				<b>192.022.800</b>

## 6.5 Kostenminderung bei niedrigerer Schwellenhöhe

Es soll untersucht werden, welches Kosteneinsparungspotenzial sich durch eine Reduktion der Schwellenhöhe von NN -1,50 m auf NN -2,0 m ergibt. Die Kostenreduktion stellt sich wie folgt dar:

Keine Auswirkung bzw. nur theoretische Auswirkungen auf die Kosten der Schleuse.

Bei den beweglichen Schwellen ist eine Abschätzung über die kennzeichnenden Massen möglich. Die Kosten reduzieren sich über den Verhältniswert der Massenreduktion. Die Massenreduktion einer Schwellenhöhe von NN -2,0 m im Vergleich zur Schwellenhöhe NN -1,50 m ergibt sich aus der Reduktion der Querschnittsflächen. Diese betragen in % der Schwelle für NN -2,0 m von der Schwelle NN -1,50 m:

- 80 % bei den festen Schwelle (dies ist ein Mittelwert für die variable Gewässersohlhöhe),
- 83 % bei der beweglichen Schwelle mit der Sohlhöhe von NN -7,0 m (BSÖ) und
- 87 % bei der beweglichen Schwelle mit der Sohlhöhe NN -9,0 m (HSÖ und Variante A.1).



Die geänderten Gesamtkosten enthält Tabelle 6-2.

Tabelle 6-2: Vergleich der Investitionskosten Schwelle bei NN -1,50 m mit Schwelle bei NN -2,0 m

Variante	Baukosten (netto) Schwelle NN -1,50 m	Baukosten (netto) Schwelle NN -2,00 m
Variante A.1	138 Mio. €	134 Mio. €
Variante B.1	157 Mio. €	151 Mio. €
Variante B.2-1	160 Mio. €	155 Mio. €
Variante B.2.-1/2	165 Mio. €	159 Mio. €

### Varianten:

- A.1 Schwelle oberhalb des Sperrwerkes mit beweglicher Schwelle in der Fahr-  
rinne und Einzelkammerschleuse am nördlichen Ufer
- B.1 Schwelle im Sperrwerksquerschnitt mit beweglicher Schwelle in HSÖ und  
BSÖ sowie Schleuse in NÖ1
- B.2-1 Schwelle im Sperrwerksquerschnitt mit beweglicher Schwelle in HSÖ und  
BSÖ sowie Schleuse in NÖ2
- B.2-1/2 wie B.2-1 jedoch mit Sektortoren statt Stemmtoren

## 7 Zusammenfassung

Im Rahmen des Aktionsprogramm Ems zur Reduzierung der Verschlickung in der Unterems hat die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Dienststelle Hamburg die tide- und morphodynamischen Wirkungen einer Schwelle im Bereich des Emssperrwerkes bei Gandersum untersucht. Die Schwelle mit einer Höhe von NN -1,50 m stützt nach diesen Berechnungen das Tideniedrigwasser oberhalb der Schwelle, das normalerweise in diesem Bereich der Unterems bei NN -2,0 m liegt. Dadurch wird das Tidevolumen reduziert und werden insbesondere die Flutstromgeschwindigkeiten, die maßgeblich für den stromaufgerichteten Sedimenttransport sind, geringer. Im Ergebnis prognostiziert die BAW eine deutliche Reduktion des Verlandungspotentials in der Unterems.

Aufgabe dieser Studie ist es, bautechnische Lösungen für die Errichtung einer Schwelle zu entwickeln. Diese kann in unmittelbarer Nähe des Sperrwerkes aber auch oberhalb oder unterhalb des Sperrwerkes liegen. Wesentliche Randbedingung für die Entwicklung von Lösungen sind die Aufrechterhaltung von bestehenden Funktionen des Sperrwerkes und die Aufrechterhaltung der Schifffahrt auf der Ems. So darf die Funktion als Sturmflutschutzbauwerk und als Mittel für die Ermöglichung der Werftschiffüberführungen nicht beeinträchtigt werden. Gleichzeitig muss die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs, welche Sperrwerk und Schwelle passiert, gewährleistet bleiben.

Grundsätzlich ist es möglich, die Schwelle als festes oder bewegliches Bauwerk zu errichten. Um jederzeit eine Passage für die Schifffahrt zu ermöglichen, ist eine Schleuse erforderlich. Da bei Hochwasser, das in diesem Bereich mit NN +1,70 m etwa 3,20 m über der Schwellenhöhe liegt, der Einfluss der Schwelle auf die Strömung unbedeutend ist, bietet es sich an, der Schifffahrt über die Schleuse hinaus auch die Durchfahrt durch die Schwelle anzubieten, die dann aber in diesem Durchfahrtsquerschnitt beweglich gestaltet werden muss. Es werden daher bautechnische Lösungen für feste und bewegliche Schwellen entwickelt.

Die Lage der Schwelle im Verhältnis zum vorhandenen Sperrwerk sowie die Lage der Schleuse mit ihren Vorhäfen haben entscheidenden Einfluss auf die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs. Es werden daher Varianten des gesamten Schwellenbauwerkes untersucht, die es erlauben die Bandbreite möglicher Lösungen einzuschätzen. Die Varianten umfassen

- *A.1:* Schwellenbauwerk 800 m oberhalb des Sperrwerkes mit beweglicher Schwelle im Bereich der bestehenden Fahrrinne, fester Schwelle südlich davon und Schleuse auf der Nordseite
- *B.1:* Schwellenbauwerk in Sperrwerksachse mit beweglichen Schwellen in der Hauptschifffahrts- und Binnenschifffahrtsöffnung des Sperrwerkes, einer Schleuse in der nördlichen Nebenöffnung und einer festen Schwellen im übrigen Abschnitt

- B.2: Schwellenbauwerk in Sperrwerksachse mit beweglichen Schwellen in der Hauptschiffahrts- und Binnenschiffahrtsöffnung des Sperrwerks, einer Schleuse in der südlich an die Binnenschiffahrtsöffnung angrenzenden Nebenöffnung und festen Schwellen in den übrigen Abschnitten

Die verschiedenen Varianten werden in einem zweistufigen Bewertungsverfahren beurteilt. Alle vorgenannten Varianten zeigen, dass ein Schwellenbauwerk entsprechend der Aufgabenstellung technisch umsetzbar ist. Die Kosten der Varianten unterscheiden sich vergleichsweise wenig. Sie liegen in der Größenordnung von 140 bis 160 Mio. € (netto Baukosten).

Die Bewertung zeigt, dass eine klare Entscheidung über eine Vorzugsvariante noch nicht möglich ist. Bevor diese Entscheidung getroffen werden kann, sind weitergehende Untersuchungen erforderlich. Diese umfassen im Wesentlichen die Durchführung nautischer Fahrversuche im Schiffssimulator und morphodynamische Untersuchungen zur Abschätzung von Unterhaltungsaufwendungen für die Aufrechterhaltung der Wassertiefen.

Hamburg, 26. Februar 2009

### Planungsgemeinschaft

IMS Ingenieurgesellschaft mbH und Ingenieurbüro Rapsch & Schubert



Ruland

gez. Rapsch



## 8 Verwendete Unterlagen

Dokumente und Berichte des WSA Emden

- Aktenzeichen 231.2/UnEm/96/SA1, Stand 9.9.2008
- Vorbemessung einer Schleuse im Emssperrwerk, Stand 25.08.2008
- Konzeptpapier für die Maßnahme „Einsatzes Emssperrwerkes zur Tidebeeinflussung“ vom März/April 2008
- Bundesanstalt für Wasserbau, AZ: A3955010143, Ergebnisbericht „Aktionsprogramm des Bundes zur Reduzierung seines Unterhaltungsaufwandes und Minimierung der Verschlickung in der Unterems“

### IMS-Berichte

- 90122-01 „Einengung des Querschnitts der Ems im Bereich des Emssperrwerks – Auflistung von Lösungsideen und Ableitung näher zu untersuchender Varianten“
- 90122-02 „Einengung des Querschnitts der Ems im Bereich des Emssperrwerks – Bemessungsgrundlagen“
- 90122-05 „Studie zur grundsätzlichen technischen Machbarkeit einer Einengung des Fließquerschnitts der Ems im Bereich des Emssperrwerks bei Gandersum – Vorstatik Massivbau, Stahlbau und Geotechnik“
- 90122-06 „Studie zur grundsätzlichen technischen Machbarkeit einer Einengung des Fließquerschnitts der Ems im Bereich des Emssperrwerks bei Gandersum – Vorstatik Stahlwasserbau“

### Literatur

- [1] Bollrich & Preißler (1992) „Technische Hyromechanik 1“, Verlag für Bauwesen, Berlin

## **Anlage**

**Anlage 1 Kostenberechnung**

**Anlage 2 Berechnungen Wehrabfluss  
über der Schwelle**

**Anlage 3 Zeichnungen Stahlwasserbau**

# Anlage 1

## Kostenberechnung

## Anlage 2

# Berechnungen Wehrabfluss über der Schwelle

# Anlage 3

## Zeichnungen Stahlwasserbau



**Zeichnungsverzeichnis**

<b>Zeichnungs-Nr.</b>	<b>Titel</b>	<b>Maßstab</b>
90122-S-01	Übersichtsplan / Istzustand	1 : 25.000
90122-S-A1-01	Variante GV-A.1 / Lageplan	1 : 2.500
90122-S-A1-02	Variante GV-A.1 / Einfachschleuse 27 x 225 m	1 : 500
90122-S-B1-01	Variante GV-B.1 / Lageplan	1 : 2.500
90122-S-B1-02	Variante GV-B.1 / Einfachschleuse 27 x 225 m	1 : 500
90122-S-B2-01	Variante BV-B.2 / Lageplan mit Einfachschleuse Stemmtor	1 : 2.500
90122-S-B2-02	Variante BV-B.2 / Lageplan mit Einfachschleu- se/Sektortor	1 : 2.500
90122-S-B2-03	Variante BV-B.2 / Lageplan mit Doppelschleuse	1 : 2.500
90122-S-B2-04	Variante BV-B.2 / Einfachschleuse 27 x 225 m/Stemmtor	1 : 500
90122-S-B2-05	Variante BV-B.2 / Einfachschleuse 27 x 225 m/Sektortor	1 : 500
90122-S-B2-06	Variante BV-B.2 / Doppelschleuse 27 x 225 m / 12,5 x 225 m	1 : 500
90122-S-B2-07	Variante BV-B.2 / Einfachschleuse Außenhaupt/ Draufsicht und Schnitte	1 : 250
90122-S-B2-08	Variante BV-B.2 / Einfachschleuse Binnenhaupt/ Draufsicht und Schnitte	1 : 250
90122-S-SW-01	Variante GV-A.1 / Bewegliche Schwelle/ Segment- bzw. Klappenverschluss	1 : 250
90122-S-SW-02	Variante GV-A.1 / Feste Schwelle Steinschüttdamm	1 : 1.000/1 : 250
90122-S-SW-03	Variante GV-B.1 und B.2 / Feste Stahlschwelle	1 : 1.000/1 : 100
90122-S-SW-04	Variante GV-B.1 und B.2 / Bewegliche Schwelle - HSÖ Segment- bzw. Klappenverschluss	1 : 250
90122-S-SW-05	Variante GV-B.1 / Bewegliche Schwelle - BSÖ Segment- bzw. Klappenverschluss	1 : 250
90122-S-SW-06	Variante GV-B.1 / Feste Schwelle Steinschütt- damm und Spundwand	1 : 1.000/1 : 250 1 : 100/1 : 50
90122-S-SW-07	Variante GV-B.2 / Feste Schwelle Steinschütt- damm und Spundwand	1 : 1.000/1 : 250 1 : 100/1 : 50



Ingenieurgesellschaft mbH

Stadtdeich 5  
20097 Hamburg  
Tel.: 040 32818-0  
Fax: 040 32818-139  
E-Mail: [info@ims-ing.de](mailto:info@ims-ing.de)



Ingenieurbüro Rapsch und Schubert  
Stahlwasserbau Consulting GmbH

Max-von-Laue-Straße 12  
97080 Würzburg  
Tel.: 0931 9910945  
Fax: 0931 9910947  
E-Mail: [info@irs-stahlwasserbau.de](mailto:info@irs-stahlwasserbau.de)