



WSV.de

Wasser- und
Schiffahrtsverwaltung
des Bundes

Wasser- und Schiffahrtsamt Emden
**Aktionsprogramm Ems –
Sohlschwelle am Emssperrwerk**

Machbarkeitsstudie

**Nutzbarkeit des Emssperrwerks zur Anhebung des
Tideniedrigwasser in der Unterems**

Bericht Nr. 0113-01b
Hamburg, 17. Februar 2015

Revisions-Status

Rev.	Beschreibung	Datum	Autor	Abnahme
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____



Ingenieurgesellschaft mbH

Inhalt	Seite
1 Veranlassung	1
2 Ziele der Studie	2
3 Begriffsdefinitionen	4
4 Ausgangspunkt numerische Modelluntersuchung	5
5 Wasserstände und Lastannahmen	7
6 Teilvarianten	10
6.1 Bewegliche Sohlschwellen vor oder hinter den bestehenden Verschlüssen des Emssperrwerks	10
6.1.1 Teilvariante T.1.a: Drehsegment als überströmtes Wehr	10
6.1.2 Teilvariante T.1.b: Bewegliche Schwelle in Klappenbauweise	13
6.1.3 Teilvariante T.1.c: Einsatz des Kreisdrehsegmentes der HSÖ als bewegliche Schwelle	16
6.1.4 Bewertung der beweglichen Verschlüsse	21
6.2 Kombinationslösungen mit den vorhandenen Hubtoren	23
6.2.1 Teilvariante T.2.a, geteilte Hubtore	24
6.2.2 Teilvariante T.2.b, Schütze in den Hubtoren	25
6.2.3 Teilvarianten T.2.c, einschwimbare Sohlschwelle	27
6.2.4 Bewertung der Sohlschwellen, die in Kombination mit den vorhandenen Hubtoren funktionieren	28
7 Gesamtvarianten	32
7.1 Übersicht über die zu untersuchenden Gesamtvarianten	32
7.2 Gesamtvariante G.1.a	35
7.3 Gesamtvariante G.1.b	38
7.4 Gesamtvariante G.2.a	42
7.5 Gesamtvariante G.2.b	46
7.5.1 Belastung des Kolkschutzes	47
7.5.2 Untervariante zur Gesamtvariante G.2.b:	49
7.6 Bewertung der Gesamtvarianten	50
7.6.1 Bewertung der technischen Qualität	51
7.6.2 Realisierbarkeit der Lösungen	53
7.6.3 Nautische Qualität (Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs)	54
7.6.4 Bewertung der Beeinflussung des Sperrwerkbetriebs	55
7.6.5 Kosten	56
7.6.6 Bewertungsübersicht	57

8 Zusammenfassung 60**9 Verwendete Unterlagen 62****Tabellen II****Abbildungen II****Zeichungsverzeichnis IV****Tabellen**

Tabelle 5-1:	Auslegungswasserstände des Emssperrwerks	7
Tabelle 5-2:	Bemessungsrelevante Wasserstände für die Schwelle bei Kehrung gegen höheren Wasserstand oberstrom der Schwelle, ablaufend Wasser	8
Tabelle 5-3:	Bemessungsrelevante Wasserstände für die Schwelle bei Kehrung gegen höheren Wasserstand oberstrom der Schwelle, ablaufend Wasser, flexible Schwelle	8
Tabelle 5-4:	Bemessungsrelevante Wasserstände für die Schwelle bei Kehrung gegen höheren Wasserstand unterstrom der Schwelle, auflaufend Wasser	9
Tabelle 7-1:	Kosten der Gesamtvariante G.1.a	36
Tabelle 7-2:	Kosten der Gesamtvariante G.1.b	39
Tabelle 7-3:	Kosten der Gesamtvariante G.2.a	43
Tabelle 7-4:	Kosten der Untervariante zur Gesamtvariante G.2.b	50
Tabelle 7-5:	Übersicht der Bewertung	59

Abbildungen

Abbildung 4-1:	Vergleich vollkommener (a) und unvollkommener (b) Wehrüberfall sowie nahezu unbeeinflusste Überströmung (c) (BOLLRICH & PREIBLER 1992)	6
Abbildung 5-1:	Wasserstandzeitreihe eines Spring-Nipp-Zyklus gemäß Berechnung der BAW (2014)	8
Abbildung 6-1:	Querschnitt, bewegliche Schwelle in Drehsegmentbauweise	11
Abbildung 6-2:	Grundriss, bewegliche Schwelle in Drehsegmentbauweise	11
Abbildung 6-3:	Querschnitt, bewegliche Schwelle in Klappenbauweise	14
Abbildung 6-4:	Grundriss, bewegliche Schwelle in Klappenbauweise	15
Abbildung 6-5:	Querschnitt durch das Kreisdrehsegment in Schwellenstellung	16
Abbildung 6-6:	Querschnitt des Kreisdrehsegments mit Ansicht auf den südlichen Pfeiler, Kreisdrehsegment in Ruhestellung	17
Abbildung 6-7:	Detail zu den Dichtungen des Kreisdrehsegmentes für die Ruhestellung mit Dichtungsanschlügen	18
Abbildung 6-8:	Kreisdrehsegment in Staustellung	18
Abbildung 6-9:	Kreisdrehsegment in Sturmflutstellung	19

Abbildung 6-10: Kreisdrehsegment in Stellung "Sohlschwelle	20
Abbildung 6-11: Variante T.2.a, geteilte Hubtore	24
Abbildung 6-12: Variante geteilte Hubtore, Blickrichtung auf die Tragkonstruktion	25
Abbildung 6-13: Variante T.2.b, Schütze in die vorhandenen Hubtore einsetzen	26
Abbildung 6-14: Variante T.2.c, einschwimbare Sohlschwelle, Draufsicht und Details	28
Abbildung 7-1: Variante G.1.a, Sohlschwelle aus einschwimbaren Elementen und Drehsegmenten	32
Abbildung 7-2: Variante G.1.b: Sohlschwelle auf der gesamten Breite – Drehsegmente in allen Öffnungen	33
Abbildung 7-3: Variante G.2.a, Sohlschwelle aus Drehsegmenten vor HSÖ und BSÖ, Hubtore gemäß Bestand	33
Abbildung 7-4: G.2.b: Sohlschwelle allein HSÖ, Erweiterte aktive Steuerung des Emssperrwerks	34
Abbildung 7-5: Übersicht zu den Gesamtvarianten	35
Abbildung 7-6: Vergleichsberechnung Gerinnehydraulik, Zeitpunkte mit hohem Abfluss	37
Abbildung 7-7: Vergleichsberechnung Gerinnehydraulik, Tnw- Zeitpunkt im Unterwasser	38
Abbildung 7-8: Tidekurven an der Sohlschwelle, Auszug aus Spring- Nipp-Zyklus, numerisches Modell BAW	40
Abbildung 7-9: Tidekurven und Durchfluss, bei Sohlschwelle „an“ und „aus“	41
Abbildung 7-10: Tidekurven und berechnete Sohlschwellenhöhe bei , bei Sohlschwelle „an“	42
Abbildung 7-11: Vergleich G.1.b (oben) mit G.2.a (unten), berechnete Wehrschwellenhöhe	43
Abbildung 7-12: Vergleich G.1.b (oben) mit G.2.a (unten), rechnerische Fließgeschwindigkeit über dem Wehr	45
Abbildung 7-13: G.2.b, Berechnete Schwellenhöhe (oben) und rechnerische Fließgeschwindigkeit (unten) über dem Wehr	47
Abbildung 7-14: Strömungsbelastung Kolkschutz, Unterströmung des Verschlusses (Schütz)	48
Abbildung 7-15: Strömungsbelastung Kolkschutz, Überströmen des Verschlusses (Wehr)	48
Abbildung 7-16: Freie Durchströmung der HSÖ mit Fließwechsel	49

Bearbeiter

Dr.-Ing. Peter Ruland
Dipl.-Ing. Jörn Uecker
Dr.-Ing. E. Falke
Dipl.-Ing. Michael Schneeberger

Zeichnungsverzeichnis

Nr.	Zeichnungs-Nr.	Rev.	Titel	Maßstab
1.	113-S-13-1		Gesamtvariante G.1.a Übersicht und Querschnitte	1:100, 1:250, 1:2000
2.	113-S-13-2		Gesamtvariante G.1.b Übersicht und Querschnitte	1:100, 1:250, 1:2000
3.	113-S-10-1		Teilvariante T.2.c Einschwimbare Sohlschwelle NÖ 1 und 2	1:50, 1:100, 1:200
4.	113-S-10-2		Teilvariante T.2.c Einschwimbare Sohlschwelle NÖ 3 und 5	1:50, 1:100, 1:200
5.	113-S-11-1		Teilvariante T.2.b Hubtor mit Schützöffnungen NÖ 1 und 2	1:50, 1:100, 1:200
6.	113-S-11-2		Teilvariante T.2.b Hubtor mit Schützöffnungen NÖ 3 bis 5	1:50, 1:100, 1:200
7.	113-S-12-1		Teilvariante T.2.a Geteiltes Hubtor NÖ 1 und 2	1:50, 1:100, 1:200
8.	113-S-12-2		Teilvariante T.2.a Geteiltes Hubtor NÖ 3 bis 5	1:50, 1:100, 1:200

1 Veranlassung

Mit Datum vom 27. Mai 2014 hat das Wasser- und Schifffahrtsamt Emden die IMS Ingenieurgesellschaft mbH mit der Abfassung einer Studie zur Nutzbarkeit des Emssperrwerks für die Anhebung des Tideniedrigwassers in der Unterems beauftragt.

Diese Leistung wird in Zusammenarbeit mit W + S Ingenieure, Wunstorf, erbracht. Grundlage der Studie sind die in Kapitel 9 aufgelisteten Unterlagen.

Insbesondere ist darauf hinzuweisen, dass die im Jahre 2008/2009 erstellte Studie der IMS Ingenieurgesellschaft mbH zur grundsätzlichen technischen Machbarkeit einer Einengung des Fließquerschnitts der Ems im Bereich des Emssperrwerkes bei Gandersum (IMS Berichts-Nr. 90122-04a) für die Erstellung dieser Studie herangezogen wurde. Sofern es für das Verständnis der Studienergebnisse notwendig ist, wurden aus der vorangegangenen Studie Auszüge in diesen Bericht übernommen.

Weitergehende ausführliche Informationen, beispielsweise zur Wahl des Standortes, zur Tidedynamik oder zu Fragen der Nautik, finden sich in dem vorgeannten Bericht.

2 Ziele der Studie

Wesentliche Zielsetzung dieser Studie im Vergleich zur Aufgabenstellung der vorangegangenen Untersuchung ist die Realisierung einer Sohlschwelle, die im gesamten Querschnitt beweglich ist. Bei der vorangegangenen Studie war davon ausgegangen worden, dass die Sohlschwelle im Wesentlichen durch ein festes Bauwerk, was sich über den gesamten Querschnitt der Ems erstreckt, realisiert werden sollte. Zwar waren ein Teil der Varianten auch mit beweglichen Schwellenelementen untersucht worden, aber eine vollständig bewegliche Schwelle war nicht Teil der Aufgabenstellung. Konsequenterweise wurde bei der Untersuchung 2008/2009 davon ausgegangen, dass das Schwellenbauwerk eine Schleuse zur Aufrechterhaltung des Schiffsverkehrs erhalten sollte.

Für diese Studie aber besteht der wesentliche Gedankenansatz darin, dass bei einer beweglichen Schwelle auf ein Schleusenbauwerk nach Möglichkeit verzichtet werden kann. Die Schifffahrt soll den Bereich des Sperrwerks und der Sohlschwelle zu den Zeiten passieren, in denen die bewegliche Schwelle gelegt ist.

In der vorangegangenen Studie 2008/2009 waren auch Varianten untersucht worden, bei denen die Sohlschwelle nicht unmittelbar am Sperrwerk lag. Aus nautischen Gründen waren diese Lösungen verworfen worden, da eine Durchfahrt von zwei aufeinanderfolgenden Bauwerken als nachteilig angesehen wurde. Konsequenterweise werden bei dieser Studie nur Lösungen untersucht, die entweder das Sperrwerk selbst nutzen oder in unmittelbarem Zusammenhang damit stehen.

Zielsetzung der Studie ist es eine Sohlschwelle zu entwickeln, deren Beweglichkeit sich in den beiden folgenden Eigenschaften ausdrückt:

Reversibilität,

damit ist die Beweglichkeit der Sohlschwelle im Sinne von Sohlschwelle „an“ oder „aus“ gemeint. In welcher Form dieses „an“ oder „aus“ technisch realisiert werden kann, ist genau Aufgabenstellung der Studie.

Diese Reversibilität kann sich in unterschiedlichen zeitlichen Dimensionen ausdrücken. Es können technische Lösungen gefunden werden, die eine Reversibilität „täglich“ ermöglichen oder bei denen der Aufwand zur Bewegung der Sohlschwelle so groß ist, dass nur eine zeitliche Dimension der Bewegung im Sinne von „jährlich“ möglich ist.

Kapitel 3 definiert die hier genannten Begriffe.

Man könnte Reversibilität auch im Sinne von grundsätzlicher Rückbaubarkeit einer Schwelle verstehen. Dies ist aber nicht Gegenstand dieser Studie, weil letztendlich alle Lösungen, nämlich genau auch die einer festen Schwelle rückbaubar sind. Im Sinne der Studie ist in der Tat die Entwicklung technischer Lösungen gemeint, die verhältnismäßig einfach eine Bewegung der Schwelle ermöglichen.

Flexibilität

Damit ist die Variation der Höhe der Sohlschwelle gemeint. Bei der vorangegangenen Studie im Jahre 2008/2009 war Ausgangspunkt aller Überlegungen

die feste Höhenlage der Sohlschwelle in Höhe von NN – 1,50 m. Dies entsprach der Untersuchung der Sohlschwelle im numerischen Modell der BAW.

Für die hier vorliegende neue Studie soll die Sohlschwelle so konstruiert werden, dass eine zusätzliche Variationsmöglichkeit von $\pm 0,50$ m um die Zielhöhe von NN 1,50 m möglich wird.

Für die Entwicklung einer reversiblen Sohlschwelle sprechen im Wesentlichen folgende zwei Gründe:

Es wird möglich, die Schwelle nur dann in Betrieb zu nehmen, wenn es die hydrologischen Verhältnisse, also vor allen Dingen niedrige Oberwasserzuflüsse, erfordern. Denn nur bei solchen Oberwasserzuflüssen kommt es zu hohen Sedimenteinträgen von Unterstrom. Damit kann man den Bedenken der Umweltverbände Rechnung tragen, die in der Sohlschwelle eine weitere anthropogene Beeinflussung der Ems sehen und die die Anhebung des Tideniedrigwassers als eine Art temporäres Stillgewässer begreifen.

Die Reversibilität ermöglicht auch Erleichterung für die Schifffahrt, die zu solchen Zeiten, in denen die Sohlschwelle nicht in Betrieb ist, eine freie und ungehinderte Durchfahrt durch das Sperrwerk, wie heute bestehend, nutzen kann.

Für die Konstruktion einer flexiblen Sohlschwelle sprechen die Unschärfen der numerischen Modelluntersuchung.

Diese haben gezeigt, dass die Wirkung auf den Sedimenttransport in hohem Maße eine Funktion der Höhe der Sohlschwelle, also der Höhe der Tideniedrigwasseranhebung ist. Vielfältige Parameter und Randbedingungen beeinflussen in nichtlinearer Weise die Wirkung der Schwelle auf den Sedimenttransport. Deswegen sind die Modellprognosen mit quantitativen Unschärfen verbunden. Die flexible Schwelle schafft daher Anpassungsmöglichkeiten nach Errichtung der Sohlschwelle, deren Höhe dann anhand von Naturbeobachtungen festgelegt werden kann.

Methodik

Die im Rahmen dieser Studie erarbeiteten technischen Lösungen werden zunächst in der Form von Teilvarianten untersucht (Kap 6). Dabei handelt es sich um Lösungen für einzelne Bauteile wie zum Beispiel Verschlüsse, die sich als Wehr eignen. Die Lösungen für solche einzelne Bauteile werden einer vergleichenden Bewertung unterzogen. Im Ergebnis der Bewertung wird die beste Teilvariante ausgewählt.

Im zweiten Schritt werden die Teilvarianten zu Gesamtvarianten kombiniert (Kap. 7). Gesamtvarianten sind immer vollständige Lösungen für die Planungsaufgabe „bewegliche Sohlschwelle“. Diese werden dann einer vergleichenden Bewertung unterzogen (Kap. 7.6).

3 Begriffsdefinitionen

Im Rahmen dieses Berichtes werden unterschiedliche technische Lösungen für die bewegliche Sohlschwelle vorgestellt. Da die typischen Verschlussorgane im Wasserbau unterschiedliche Bewegungen vollführen – so werden beispielsweise Schütze gesenkt, um eine Öffnung zu verschließen, aber Wehre gehoben, um den gleichen Effekt zu bewirken – werden im Rahmen dieses Berichtes folgende allgemeinere Begriffe verwandt:

Schwelle „an“

Damit ist gemeint, dass die Sohlschwelle sich in Schwellenfunktion befindet, egal ob diese Schwelle durch geschlossene Tore, durch Einbauschwellen oder durch bewegliche Zusatzverschlüsse oder durch Schütze oder Wehre bewirkt wird.

Schwelle „aus“

Damit ist das Gegenteil von „an“ gemeint.

„täglich“

Die Schwelle ist so konstruiert, dass man sie täglich bewegen kann, also z. B. mit jedem Tideniedrigwasser „an“ und wieder „aus“-stellen kann.

„jährlich“

Der Aufwand für die Bewegung der Verschlüsse ist so groß, dass eine Bewegung z. B. bei jedem Tideniedrigwasser ausgeschlossen ist. Der Verschluss eignet sich nur für saisonale Bewegungen.

4 Ausgangspunkt numerische Modelluntersuchung

Die Bundesanstalt für Wasserbau hat mittels numerischer Modelluntersuchung die Wirkung der Schwelle auf die Reduktion des Sedimenteintrags in die Unterems ausführlich untersucht (vgl. BAW-Berichts-Nr.: A39550310143 [1]). Dabei wird die Schwelle durch das Hochsetzen von Berechnungselementen im Querschnitt des Emssperrwerks auf das Niveau der Sohlschwellenhöhe abgebildet. Die Schwelle besteht also im numerischen Modell aus einer festen Schwelle, die über den ganzen Tidezyklus aufrechterhalten wird und die in diesem Sinne weder flexibel noch reversibel ist.

Wenn in dieser Studie technische Lösungen untersucht werden, die es ermöglichen im Sinne einer „täglichen“ Reversibilität den Fließquerschnitt bei Hochwasser vollständig freizugeben und bei Niedrigwasser diese Sohlschwelle aufzubauen, so ist dies eine Abweichung zu den numerischen Modelluntersuchungen. Diese Untersuchungen zeigen aber, dass die Wirkung der Sohlschwelle auf den Sedimenttransport vor allen Dingen von der Anhebung des Tideniedrigwassers ausgeht.

Die feste Sohlschwelle, wie sie im numerischen Modell enthalten ist, reduziert zwar auch das Tidehochwasser. Dieser Umstand ist aber nur von geringem Einfluss auf den Sedimenttransport. Insofern kann näherungsweise davon ausgegangen werden, dass auch solche technischen Lösungen, die bei Hochwasser vollständig „aus“ sind, eine ebenso positive Wirkung auf den Sedimenttransport entfalten, wie die Lösungen, die auch bei Hochwasser noch eine Sohlschwelle in Position „an“ enthalten.

Entsprechend der Verfahrensweise bei der vorangegangenen Studie (2008/2009) wird auch bei dieser Studie geprüft, ob die technischen Lösungen mit einer Höhenlage der Sohlschwelle bei NN – 1,50 m geeignet sind, die Wasserstände und Abflüsse des numerischen Modells zu reproduzieren. Dies geschieht mittels Nachbildung der Sohlschwelle als Wehr, also mittels der üblichen Methoden der Gerinnehydraulik für die Berechnung von Wehrüberfällen.

Hierfür wurden durch die Bundesanstalt für Wasserbau Modelldaten bereitgestellt, die aus den folgenden Zeitreihen bestehen:

- $Q(t)$ (Ems-Km 31,5)
- $H_{ow}(t)$ (Ems-Km 30)
- $H_{uw}(t)$ (Ems-Km 35).

Das Sperrwerk liegt etwa in der Mitte zwischen Km 30 und Km 35. Die gewählten Entfernungen zum Sperrwerk erscheinen recht groß, sie bieten aber die Gewähr, dass es keine Beeinflussung zwischen numerischen Effekten durch die Nachbildung des Wehrüberfalls im Modell und den Wasserständen gibt.

Aus der Sicht eines Betrachters am Ufer wird die Sohlschwelle im Laufe des Tidezyklus in höchst unterschiedlicher Weise sichtbar. Dies kann anhand der Abbildung 4-1 (BOLLRICH & PREIBLER 1992) verdeutlicht werden.

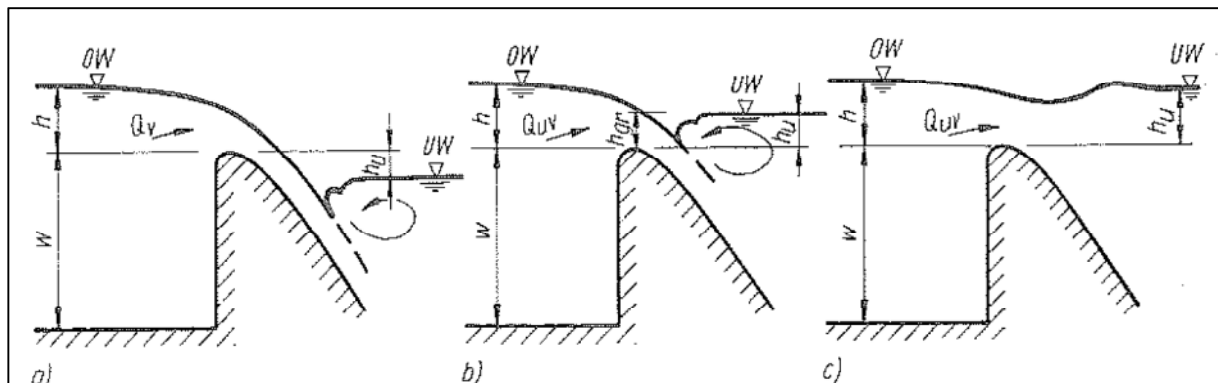


Abbildung 4-1: Vergleich vollkommener (a) und unvollkommener (b) Wehrüberfall sowie nahezu unbeeinflusste Überströmung (c) (BOLLRICH & PREIßLER 1992)

Bei Tidehochwasser beträgt der Abstand zwischen der Oberkante der Sohlschwelle und der Wasseroberfläche rund 3,5 m. Die Schwelle ist also vollständig eingestaut und insbesondere zur Zeit der Tidekenterung mit nur geringen Strömungsgeschwindigkeiten ist die Wirkung der Schwelle an der Wasseroberfläche nicht sichtbar.

Bei einsetzender Ebbe steigt die Strömungsgeschwindigkeit und sinkt der Wasserstand, so dass die Fließgeschwindigkeit, insbesondere genau über der Sohlschwellenoberkante erhöht wird, was sich an der Oberfläche durch eine stehende Welle bemerkbar macht. Dies entspricht in etwa der Situation in der Abbildung 4-1, Teil c.

Wenn der Wasserstand weiter absinkt, setzt die Aufstauwirkung der Sohlschwelle langsam ein, es kommt zu unvollkommenem Überfall gemäß Abbildung 4-1, Teil b. Unvollkommener Überfall ist im Wesentlichen dadurch gekennzeichnet, dass der Wasserstand hinter den Wehrrücken noch über der Höhe des Wehrrückens liegt.

Sinkt der Wasserstand hinter der Sohlschwelle unter die Höhe der Sohlschwelle (respektive des Wehrrückens) ab, wie in Abbildung 4-1, Teil a dargestellt, so herrscht vollkommener Überfall. Die Höhe des Wasserspiegels oberstrom der Sohlschwelle ist nur noch von der Höhe der Sohlschwelle selbst abhängig. Eine Beeinflussung durch das Unterwasser besteht nicht mehr. Diese Situation wird bei einer Sohlwellenhöhe von NN – 1,50 m regelmäßig bei Tideniedrigwasser eintreten.

Im Zuge der Vorstellung der Gesamtvarianten wird exemplarisch anhand einer Gesamtvariante eine Wehrberechnung durchgeführt, die die vorgenannten Zeitreihen aus der numerischen Modelluntersuchung als Randbedingung wählt und als Wehr die gewählte technische Lösung der Gesamtvariante. Anhand dieser Berechnung wird aufgezeigt, dass es eine sehr gute Übereinstimmung der Berechnung der Aufstauwirkung mittels hydraulischer Wasserstandsabflussbeziehungen (Wehrformeln) und mittels der numerischen Modelluntersuchung gibt.

5 Wasserstände und Lastannahmen

Für die Planung des Sperrwerkes wurden die in der Tabelle 5-1 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.

Tabelle 5-1: 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, kann die Wirkung der Schwelle auf die Wasserstände oberstrom und unterstrom der Schwelle nachvollzogen werden. Dies wurde ausführlich im Bericht (90122-02 und 90122-04a) zur festen Sohlschwelle dargestellt.

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 1,8 m. Die entstehende Wasserspiegeldifferenz bei auflaufendem Wasser ist deutlich geringer und liegt etwa bei 50 cm (siehe Abbildung 5-1).

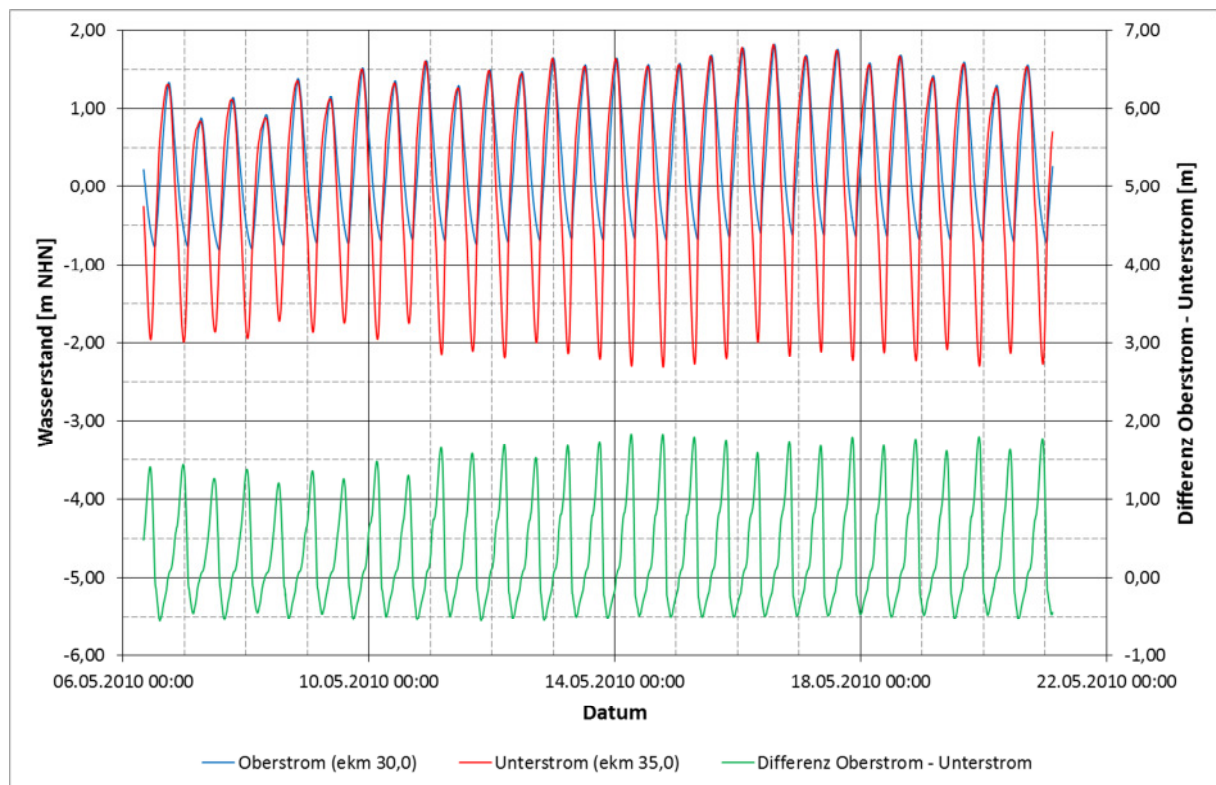


Abbildung 5-1: Wasserstandzeitreihe eines Spring-Nipp-Zyklus gemäß Berechnung der BAW (2014)

Die im Rahmen der Studie 2008/2009 (IMS-Bericht 90122-04a) verwandten Bemessungswasserstände für den Lastfall Wasserstand oberhalb größer als Wasserstand unterhalb der Schwelle sind in Tabelle 5-2 zusammengefasst.

Tabelle 5-2: Bemessungsrelevante Wasserstände für die Schwelle bei Kehrung gegen höheren Wasserstand oberstrom der Schwelle, ablaufend Wasser

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

Da die Schwelle für die vorliegende Untersuchung flexibel sein soll, also die Höhe der Schwelle um bis zu 0,5 m über der Zielhöhe von NN -1,50 m liegen soll, erhöhen sich die in Tabelle 5-2 genannten Werte um 0,5 m. Damit ergeben sich die in der folgenden Tabelle 5-3 genannten Werte:

Tabelle 5-3: Bemessungsrelevante Wasserstände für die Schwelle bei Kehrung gegen höheren Wasserstand oberstrom der Schwelle, ablaufend Wasser, flexible Schwelle

Szenario	Einstufung	OW [m NN]	UW [m NN]	Δw [m]
Häufige hydrologische Verhältnisse	Lastfall 1	+0,20	-2,30	2,50
Seltene hydrologische Verhältnisse	Lastfall 3	-0,30	-3,80	3,50

Für die Bemessung Wasserstand unterhalb größer als Wasserstand oberhalb der Schwelle (auflaufend Wasser) wurden im Rahmen dieser Studie (2008/2009) die Werte gemäß Tabelle 5-4 für die Vorbemessung herangezogen. Diese ergaben sich aus einer Auswertung des Spring-Nipp-Zyklus (siehe Abbildung 5-1) für die Zeiträume „Flut“. Auch bei einer flexiblen Sohlschwelle ändern sich diese Werte nur geringfügig, so dass näherungsweise mit den gleichen Werten gearbeitet werden kann.

Im Übrigen ist eine Lastfalldifferenzierung zwischen häufigen und seltenen hydrologischen Verhältnissen entbehrlich, weil für die auflaufende Flut keine signifikante Änderung der Wasserspiegeldifferenzen bei den verschiedenen hydrologischen Szenarien zu erwarten ist.

Tabelle 5-4: Bemessungsrelevante Wasserstände für die Schwelle bei Kehrung gegen höheren Wasserstand unterstrom der Schwelle, auflaufend Wasser

Szenario	Einstufung	OW [m NN]	UW [m NN]	Δw [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>				

6 Teilvarianten

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 die Übersichtlichkeit erhöht.

Bei den Möglichkeiten zur Realisierung einer beweglichen Sohlschwelle gibt es Lösungen, die vor oder hinter die bestehenden Verschlüsse des Emssperrwerks gesetzt werden, die also unabhängig von dem eigentlichen Sperrwerksverschluss sind, und solche Lösungen, die nur in Kombination mit den Hubtoren des Sperrwerks funktionieren. Folgende Lösungen werden betrachtet.

- Lösungen, die unmittelbar vor oder hinter die bestehenden Verschlüsse gesetzt werden können (entsprechen den Lösungen der Studie 2008/2009):
 - T.1.a: Drehsegment als überströmtes Wehr
 - T.1.b: Klappe als überströmtes Wehr
 - T.1.c: Nutzung des vorhandenen Kreisdrehsegmentes der Hauptschiff-fahrtsöffnung (HSÖ) als überströmtes Wehr
- Lösungen, die in Kombination mit den vorhandenen Hubtoren funktionieren:
 - T.2.a: Geteilte Hubtore
 - T.2.b: Ergänzung der Hubtore um eingebaute Schütze
 - T.2.c: Einsatz einschwimmbarer Sohlschwellen.

6.1 Bewegliche Sohlschwellen vor oder hinter den bestehenden Verschlüssen des Emssperrwerks

6.1.1 Teilvariante T.1.a: Drehsegment als überströmtes Wehr

Abbildung 6-1 zeigt einen Querschnitt durch einen vorhandenen Sperrwerksverschluss zusammen mit der anzubauenden Schwellenkonstruktion in Drehsegmentbauweise.

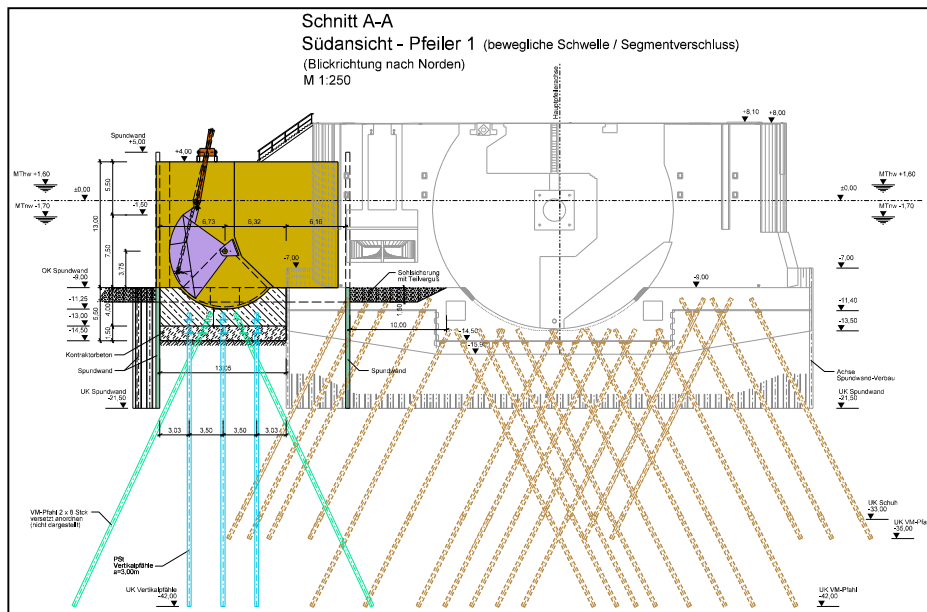


Abbildung 6-1: Querschnitt, bewegliche Schwelle in Drehsegmentbauweise

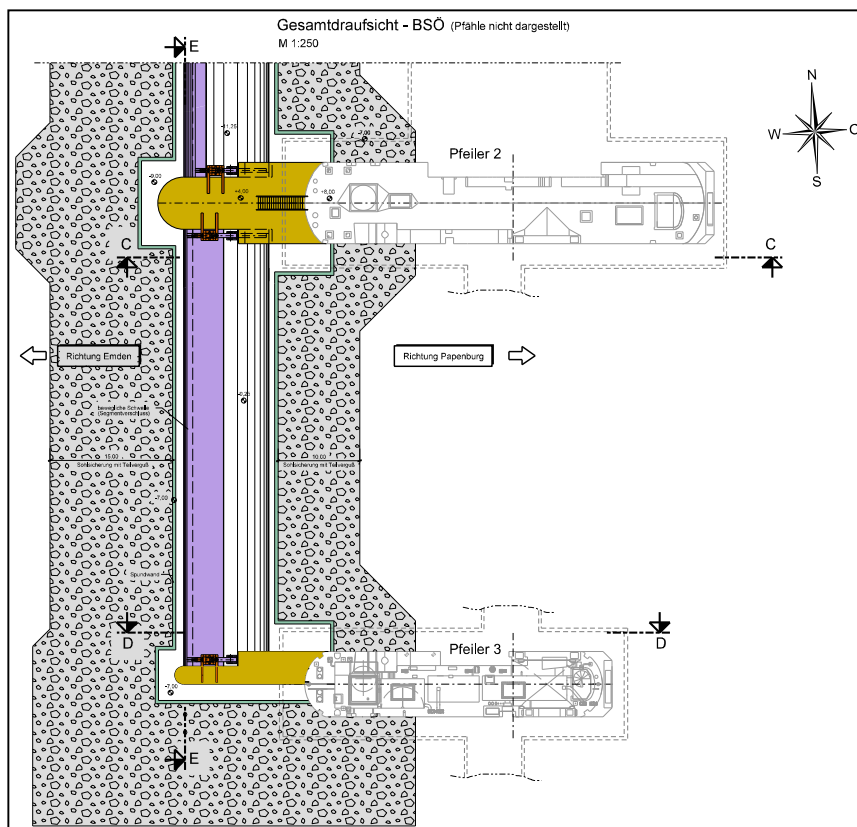


Abbildung 6-2: Grundriss, bewegliche Schwelle in Drehsegmentbauweise

Abbildung 6-2 zeigt die gleiche Situation im Grundriss. Weitere Details enthält die Zeichnung 113-S-13-2.

Die vorgenannten Abbildungen und beiliegenden Zeichnungen zeigen das Drehsegment in der Hauptschiffahrtsöffnung (HSÖ) Im aufgerichteten Zustand ver-

schließt es den Querschnitt von der Drempehöhe NN -9,0 m bis zur Schwellenhöhe NN -1,50 m. Wird das Drehsegment in anderen Öffnungen eingesetzt, kann seine Höhe reduziert werden, da dort die Drempe höher liegen (z. B. in der BSÖ bei NN -7,0 m. Die folgenden Beschreibungen beziehen sich auf eine Drempehöhe 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 Kräfteinleitung der Wasserdrucklasten in den Drempe vorgesehen ist.

Das Gesamtgewicht der Stahlwasserbaukonstruktion beträgt rd. 400 t.

Die Abdichtung zum Drempe 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 Drempe mulde 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 Drehsegmentenschwelle 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 10 Minuten möglich ist. Klemmkopfverriegelungen erlauben die Fixierung des Drehsegmentes in den Endpositionen, Wartungsposition und Zwischenstellungen.

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

- Der unmittelbar an den vorhandenen Drempe angrenzende Kolkschutz ist abzurechen und zu entfernen.
- Die Baugrube wird eingespundet und ausgesteift.
- Im Schutz der Baugrube wird ein Aushub vorgenommen und die Gründung eingebracht.

- Es erfolgen der Einbau einer Kontraktorbetonsohle sowie die Trockenlegung der Baugrube.
- Zunächst werden für Drempele und Pfeiler die Erstbetonarbeiten durchgeführt, dann werden die Dichtungsanschlüsse und Einbauteile montiert und der Zweitbeton hergestellt.
- Abschließend erfolgt die Montage der Drehsegmentenschwelle, 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 der BSÖ durch Ausbau des Sperrwerkstores und der Brücke für Überführungen hergerichtet werden, sofern die Drempehtiefe 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.

Kosten

Für die Drehsegmente in HSÖ und BSÖ werden Gesamtkosten in Höhe von € 25,7 Mio. veranschlagt.

6.1.2 Teilvariante T.1.b: Bewegliche Schwelle in Klappenbauweise

In ähnlicher Form wie bei dem Drehsegment, kann die bewegliche Schwelle auch als Klappe konstruiert werden.

Abbildung 6-3 zeigt einen Querschnitt der Anordnung dieser Klappe in der HSÖ des Sperrwerkes. Abbildung 6-4 zeigt den dazugehörigen Grundriss.

Im aufgerichteten Zustand verschließt die Klappe den Querschnitt von NN – 9 m (bei der BSÖ NN -7,0 m, bei den Hubtoröffnungen teilweise NN -5,0 m) bis NN -1,50 m. Die Höhe der Klappe, also des Stahlbauteils beträgt etwa 9 m (für die anderen Öffnungen entsprechend weniger), die Bauteildicke liegt bei rund 1,0 m. Diese geringe Bauteildicke ist nur deswegen möglich, weil eine Krafteinleitung der Wasserdrucklasten über Scharniere in den Drempele vorgesehen ist. Der Lagerabstand beträgt rund 9 m. Damit hat die Stahlwasserbaukonstruktion ein Gewicht von rund 250 t.

nen vergleichbar durchgeführt werden. Im Unterschied zur Drehsegment-schwelle ist aber ein Tauchereinsatz zum Lösen der Scharnierlager am Drempel notwendig.

Kosten:

Für die Klappen in HSÖ und BSÖ werden Gesamtkosten in Höhe von € 18,3 Mio. veranschlagt.

6.1.3 Teilvariante T.1.c: Einsatz des Kreisdrehsegmentes der HSÖ als bewegliche Schwelle

Abbildung 6-5 zeigt den Querschnitt der HSÖ mit dem Kreisdrehsegment in Schwellenstellung und einer Höhe der Verschlussoberkante von NN -1,50 m.

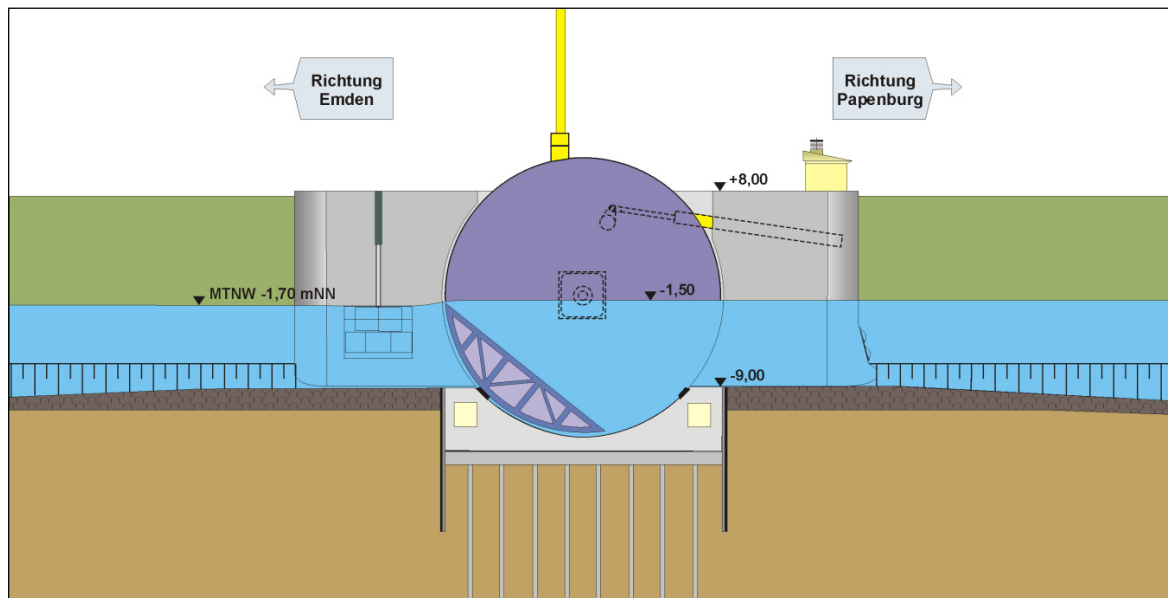


Abbildung 6-5: Querschnitt durch das Kreisdrehsegment in Schwellenstellung

Bisher sind für den Kreisdrehsegmentverschluss in der HSÖ 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 6-5.
- 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. Diese Umströmung würde die vorhandenen Dichtungen auch durch Strömungsdruck belasten, wie im folgenden Text näher erläutert wird.

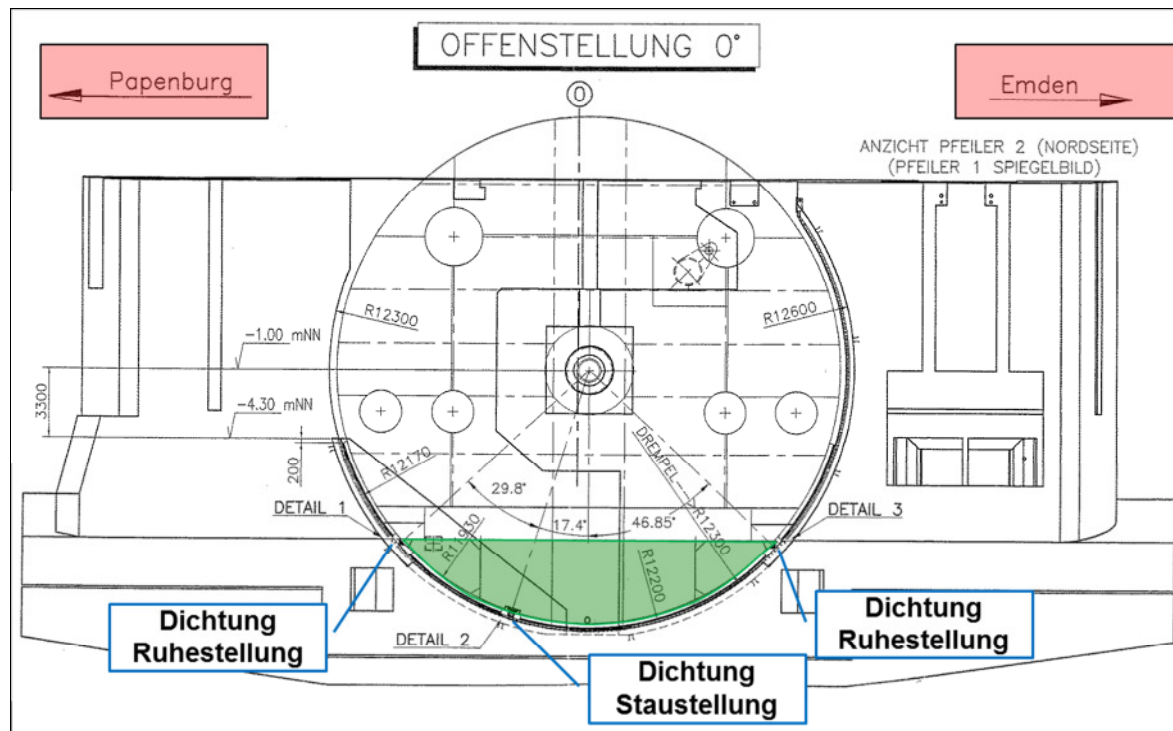


Abbildung 6-6: Querschnitt des Kreisdrehsegments mit Ansicht auf den südlichen Pfeiler, Kreisdrehsegment in Ruhestellung

Die Grafik in Abbildung 6-6 zeigt das Kreisdrehsegment in Ruhestellung. Der eigentliche Verschlusskörper ist mit grüner Farbe markiert. An den Verschlusskörper sind drei Dichtungen montiert. Die beiden äußeren Dichtungen für die sog. Ruhestellung haben die Aufgabe, das Eindringen von Sediment und Rollholz in den Schlitz zwischen Verschluss und Drempelmulde zu verhindern. Ferner ist der Verschluss mit einer speziellen Dichtung für die Staustellung ausgestattet.

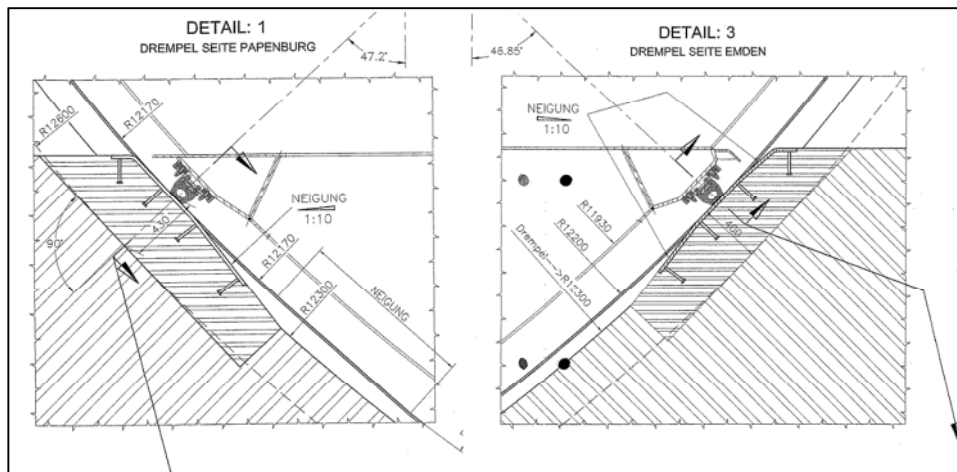


Abbildung 6-7 Detail zu den Dichtungen des Kreisdrehsegmentes für die Ruhestellung mit Dichtungsanschlügen

In Abbildung 6-7 sind die beiden Dichtungen für die Ruhestellung zusammen mit den Dichtungsanschlügen dargestellt. Letztere befinden sich innerhalb der Drempe mulde am jeweiligen unter- und oberstromigen Ende.

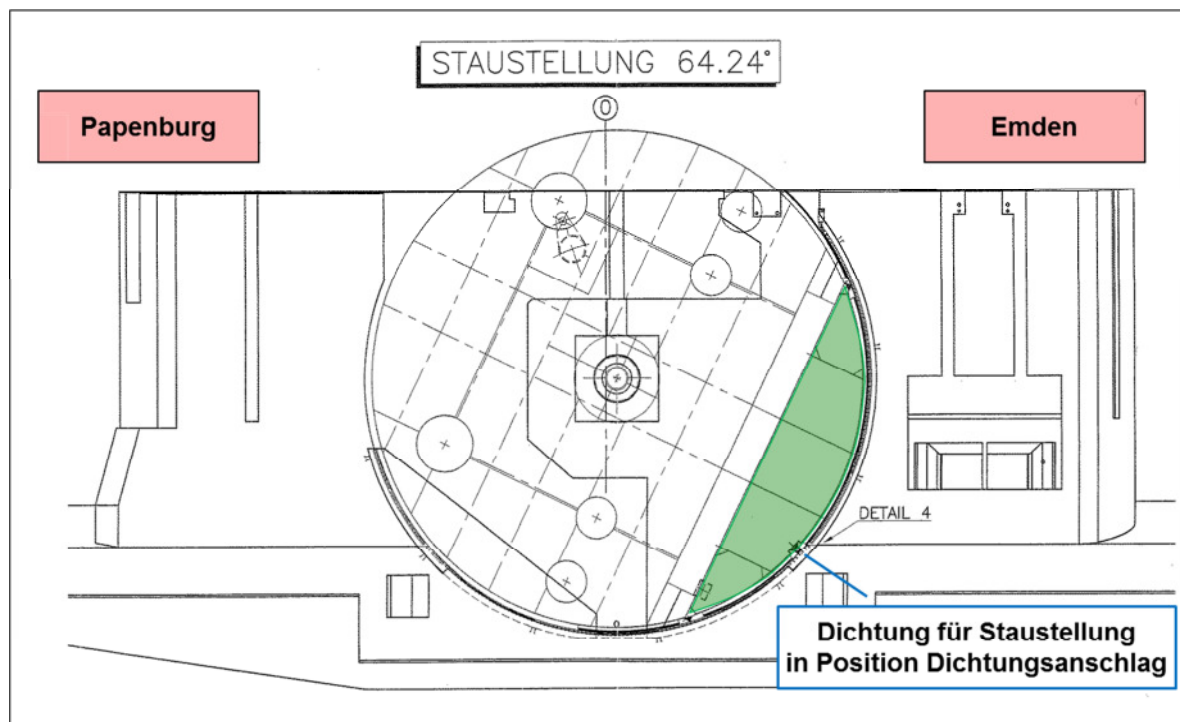


Abbildung 6-8: Kreisdrehsegment in Staustellung

In der Abbildung 6-8 ist das Kreisdrehsegment in Staustellung gezeigt. In dieser Stellung befindet sich die Dichtung für die Staustellung am Dichtungsanschlag auf der Emdener Seite, an dem beim Kreisdrehsegment in Ruhestellung die Dichtung für die Ruhestellung zur Verhinderung des Eindringens von Rollholz und Sediment anliegt. Für die Staustellung wurde bei der Planung eine Dichtung vorgesehen, um die Verlustwassermenge möglichst gering zu halten.

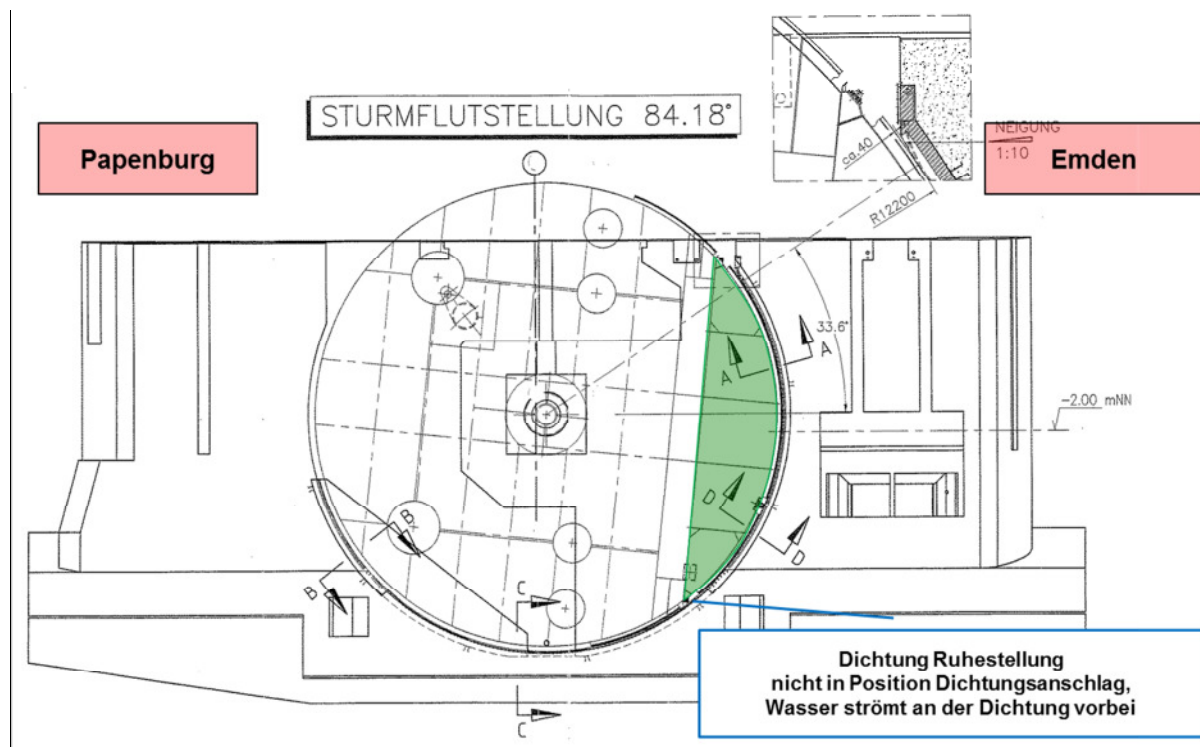


Abbildung 6-9: Kreisdrehsegment in Sturmflutstellung

Die Abbildung 6-9 zeigt das Kreisdrehsegment in Sturmflutstellung. In dieser Stellung befindet sich nur noch eine Dichtung für die Ruhestellung im Bereich der Drempelmulde. Aufgrund der Geometrie befindet sie sich aber nicht im Bereich des an der Emdener Seite befindlichen Dichtungsanschlages. D.h. während einer Sturmflut wird die Dichtung umströmt. Zwischen Dichtung und Drempelwandung befindet sich ein etwa 10 cm breiter Schlitz.

Würde man das Kreisdrehsegment in einer für die Sohlschwelle notwendigen Position betreiben, würde sich etwa das in Abbildung 6-10 gezeigte Bild ergeben. In dieser Stelle befinden sich noch eine Ruhestellungsdichtung und die Staustelungsdichtung im Bereich der Drempelmulde. Beide Dichtungen liegen aber nicht an den Dichtungsanschlängen und werden deswegen umströmt. In beiden Fällen ist der Schlitz zwischen der Dichtung und der Wandung des Drempels etwa 10 cm breit.

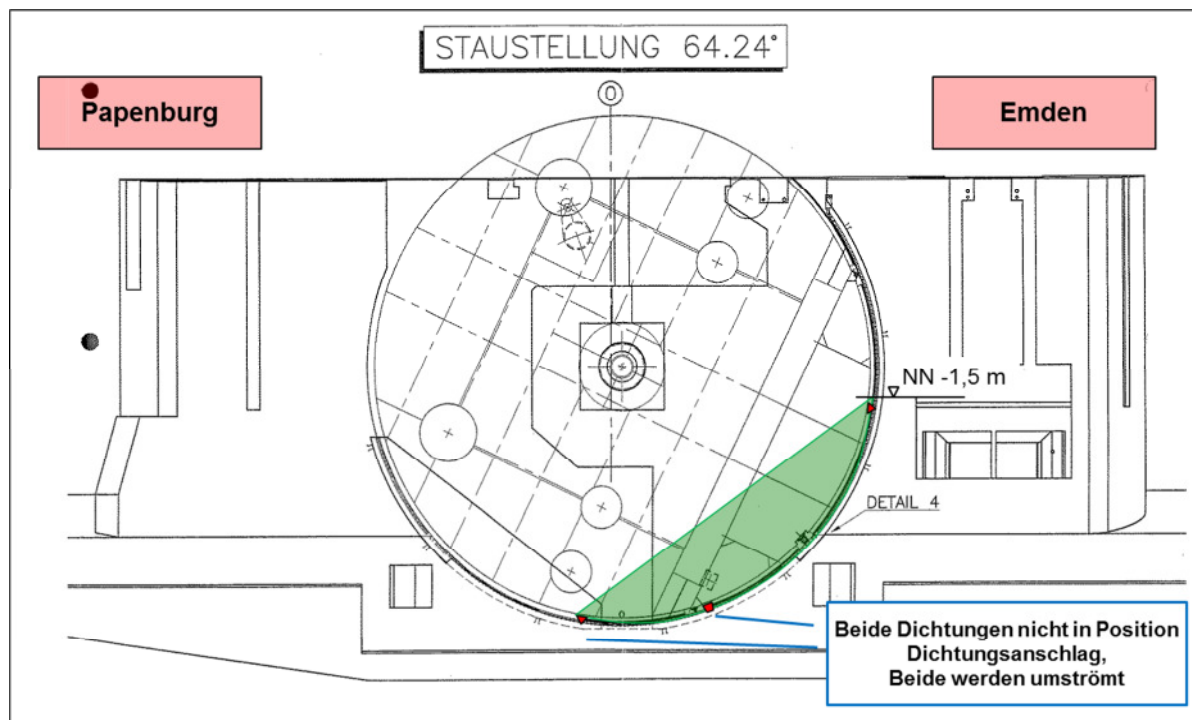


Abbildung 6-10: Kreisdrehssegment in Stellung "Sohlschwelle"

Gemäß der IMS vorliegenden Ausführungsstatik (Arbeitsgemeinschaft Stahlwasserbau Emssperrwerk, 2000) ist die Staudichtung für einen Referenzdruck von etwa $\Delta H = 5 \text{ m}$ und die Ruhedichtung für einen Referenzdruck von etwa $\Delta H = 2 \text{ m}$ ausgelegt. Durch die Umströmung werden die Referenzdrücke geringer, insbesondere weil auch in der Staustellung zwei Dichtungen umströmt werden müssen. Ggfs. sind aber Beschädigungen durch Rollholz oder Sediment möglich.

Die zu erwartende Verlustwassermenge lässt sich auf der sicheren Seite liegend wie folgt grob abschätzen:

Abschätzung Verlustwassermenge:

- $\Delta h \cong 2 \text{ m}$, $v_{\text{theoretisch}} = 6 \text{ m/s}$
- v durch Energieverluste niedriger, geschätzt $v \cong 4 \text{ m/s}$
- Schlitzbreite: 10 cm , Öffnungsbreite 60 m , Strahleinschnürung $\frac{3}{4}$
- $Q = v \cdot A = 4 \cdot \frac{3}{4} \cdot 0,1 \cdot 60 = 18 \text{ m}^3/\text{s}$.

Die Verlustwassermenge von $18 \text{ m}^3/\text{s}$ ist um ein Vielfaches kleiner als der Abfluss der Ems an dieser Stelle, auch wenn dieser im Tidezyklus schwankt und während der Tidekenterung auch kurzzeitig auf null reduziert ist. Diese Leckwassermenge ist für die Schwellenfunktion ohne Bedeutung

Eine zusätzliche Dichtung für den Betrieb des Kreisdrehssegmentes als Sohlschwelle ist also nicht erforderlich. Die bestehenden Dichtungen sind statisch auf die auftretenden Druckdifferenzen bei Umströmung ausgelegt.

Es bleibt offen, in welchem Maße die Dichtungen durch Sediment und Rollholz verschleifen würden. Dies kann nur durch Versuch festgestellt werden.

Theoretisch kann es bei der Überströmung des Verschlusses zu einem Unterdruck zwischen Überfallstrahl und Verschluss selbst kommen. Weil aber das Verhältnis auf Überfallhöhe zu Wassertiefe sehr klein ist, besteht hierfür eine geringe Wahrscheinlichkeit. Außerdem wird das Leckwasser durch die Umströmung des Verschlusses im Bereich der Drempelmulde die Unterdruckerscheinung weiter mindern.

Auch hier erscheint es verhältnismäßig, die Störungsanfälligkeit durch einen Versuch zu überprüfen.

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 Kreisdrehssegmentes 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.

Bezüglich der Wartung ergibt sich keine Änderung zum heutigen Zustand.

Kosten

Für die Umrüstung des Kreisdrehssegmentes in der HSÖ werden Gesamtkosten in Höhe von € 2,5 Mio. veranschlagt.

6.1.4 Bewertung der beweglichen Verschlüsse

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 Drempe, 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 Drempe 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. Das Kreisdrehsegment wird sich ähnlich wie ein normales Drehsegment verhalten. Aufgrund des Verhältnisses von Überfallhöhe zu Wassertiefe wird nicht mit Schwingungsanregung gerechnet. Hier bietet sich ein Versuch zur Überprüfung an.

Robustheit gegen Sedimenteintrag und Rollholz

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

Das Kreisdrehsegment der HSÖ ist bezüglich dieses Kriteriums ähnlich robust wie das Drehsegment. Auch hier ist eine eigenständige Räumfunktion der Drempe 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 des Korrosionsschutzes liegt der Aufwand für den Ausbau der Klappe und den Ausbau des Drehsegmentes etwas höher als bei dem des Kreisdrehsegmentes in der HSÖ, 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 HSÖ 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 HSÖ und BSÖ. Für die Variante Kreisdrehsegment wird nur die HSÖ betrachtet. Diese Kosten fallen nur an, wenn eine Erhöhung der Antriebsleistung und eine Verstärkung der Dichtungen erforderlich sein sollten. Es werden die Gesamtkosten für den Stahl- und den Massivbau genannt.

Kosten betragen für die Varianten:

- | | | |
|-------------------------------|------|--------|
| – Drehsegment: | 25,7 | Mio. € |
| – Klappe: | 18,3 | Mio. € |
| – Kreisdrehsegment (nur HSÖ): | 2,5 | Mio. € |

Zusammenfassung der Bewertung

Als Sonderfall einer beweglichen Schwelle ist zunächst der Einsatz des Kreisdrehsegmentes in der HSÖ 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.

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.

6.2 Kombinationslösungen mit den vorhandenen Hubtoren

Folgende Varianten werden untersucht:

- T.2.a: Geteilte Hubtore
- T.2.b: Ergänzung der Hubtore um eingebaute Schütze
- T.2.c: Einsatz einschwimmbarer Sohlswellen.

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

6.2.1 Teilvariante T.2.a, geteilte Hubtore

Die Nebenöffnungen (NÖ) 1 – 5 können mit geteilten Hubtoren gemäß Abbildung 6-11 (siehe auch Zeichnung-Nr. 113-S-12-1 und -2) ausgestattet werden. Eine solche Lösung ist in HSÖ und BSÖ nicht möglich. Hier müssten dann beispielsweise Sektorwehre wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, eingesetzt werden.

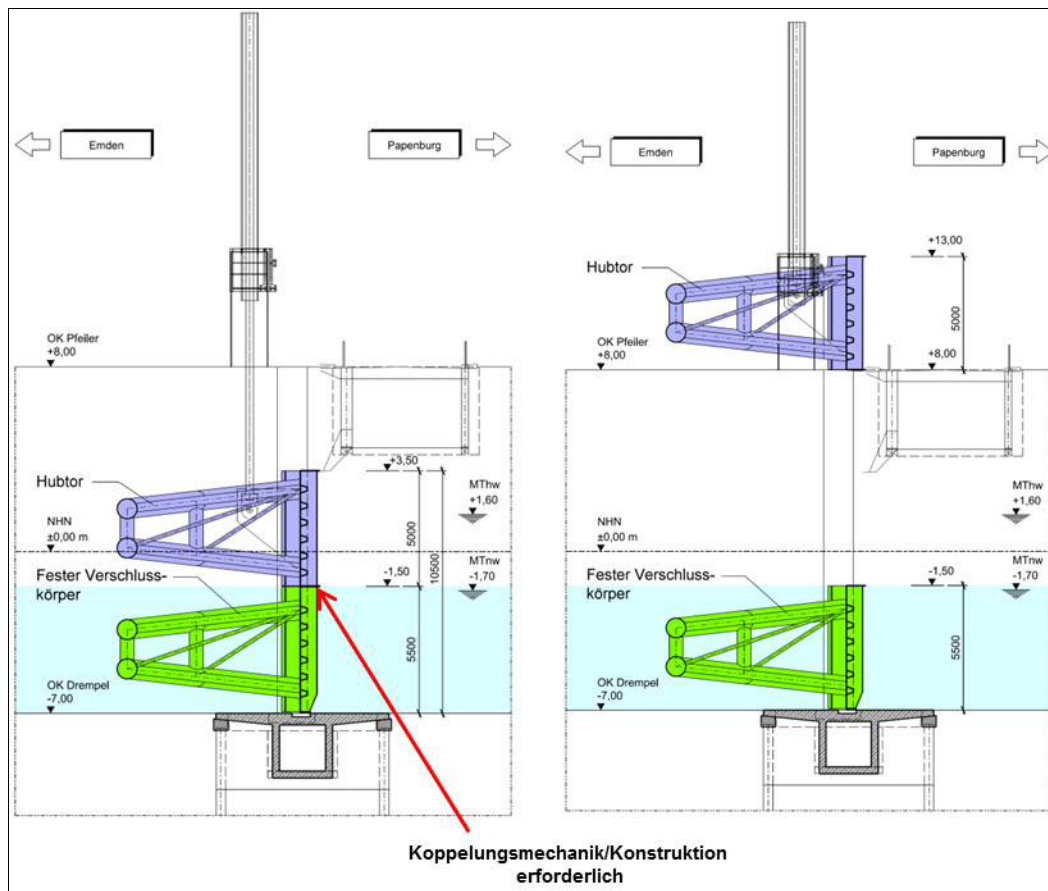


Abbildung 6-11: Variante T.2.a, geteilte Hubtore

Die Lösung mit den geteilten Hubtoren ist reversibel mit der Qualität „täglich“. Sie ist aber nicht flexibel, da eine Anpassung der Sohlschwellenhöhe in Betrieb nicht möglich ist.

Für die Realisierung dieser Lösung ist der Neubau der Hubtore erforderlich. Die bestehenden Tore lassen sich nicht teilen. Der neue Verschluss ist in ein oberes und unteres Tor zu unterteilen. Ferner muss zusätzlich technische Ausrüstung für die Koppelung der Tore vorgesehen werden. Abbildung 6-12 zeigt eine dreidimensionale Ansicht der geteilten Hubtore, mit Blickrichtung auf die Tragkonstruktion.

Die Grundkonstruktion der beiden Verschlusskörper eines geteilten Tores ist vergleichbar zu denen der bestehenden Hubtore. Gleichmaßen müssen beide Torteile für Sturmflutkehrung und Staufall bemessen werden. Lediglich die Belastungssituation Schwellenfunktion würde sich nur auf den unteren Torteil beschränken, bemessungsgebend sind hier allerdings die anderen beiden vorgenannten Funktionen. Die Horizontalkräfte der Tore werden über die Pfeilernischen in die Pfeiler eingeleitet, wie es bei den bestehenden Hubtoren auch der Fall ist.

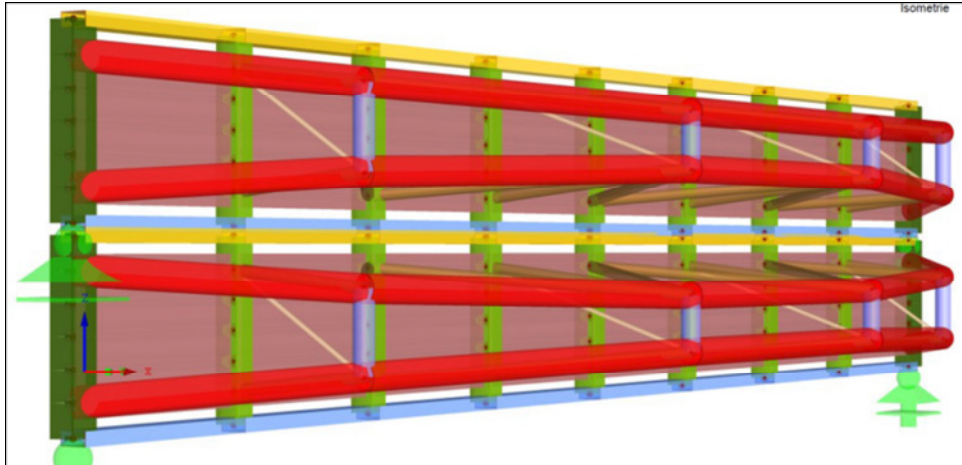


Abbildung 6-12: Variante geteilte Hubtore, Blickrichtung auf die Tragkonstruktion

Bauablauf

Der Bauablauf gliedert sich in die folgenden Schritte:

- Die Brücken und die vorhandenen Tore sind mittels Schwimmkran auszubauen. Die Brücken können an Land zwischengelagert werden, während die Tore zur Entsorgung abzutransportieren sind.
- Mittels Schwimmkran sind die unteren Hubtorteile in die Nischen einzufädeln und auf die Drempe abzusetzen.
- Danach erfolgen das Einfädeln der oberen Hubtorteile sowie das Inbetriebsetzen des Kopplungsmechanismus.
- Die Hydraulikanlagen der Gesamttore sind wieder anzuschließen und die Brücken wieder einzusetzen.

Kosten

Für die geteilten Hubtore in den Nebenöffnungen 1 und 2 bis 5 werden Gesamtkosten in Höhe von € 23,4 Mio. veranschlagt.

6.2.2 Teilvariante T.2.b, Schütze in den Hubtoren

Diese Lösung sieht vor, dass die Hubtore in den Nebenöffnungen 1 und 2 bis 5 mit Schütztafeln ausgestattet werden, die in die Tragstruktur der vorhandenen

Hubtore eingepasst werden. Abbildung 6-13 zeigt einen Querschnitt der vorgeschlagenen Lösung. Weitere Details der Konstruktion sind in den Zeichnungen Nr. 113-S-11-1 und -2 dargestellt.

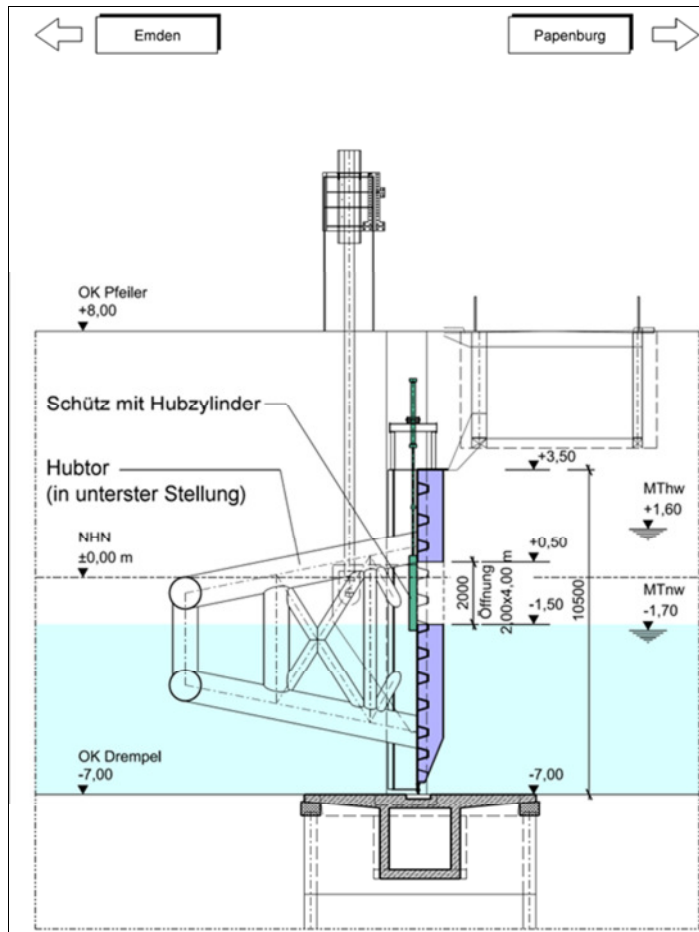


Abbildung 6-13: Variante T.2.b, Schütze in die vorhandenen Hubtore einsetzen

Diese Schwellenvariante hat die Qualität reversibel und flexibel zu sein. Letzteres kann durch unterschiedliche Öffnungsweiten der Schütze oder aber auch dadurch, dass die Schütze überströmbar konstruiert werden, erreicht werden.

An den vorhandenen Toren sind umfangreiche Anpassungen notwendig. Ferner wird erheblicher zusätzlicher Aufwand bei der technischen Ausrüstung erforderlich, weil bis zu 10 neue hydraulisch angetriebene Schütztafeln pro Hubtor erforderlich werden.

Bei Sturmflut ergibt sich das Risiko, dass auch wirklich alle Schütze geschlossen werden.

Bauablauf

Folgender Bauablauf ist für die Realisierung dieser Lösung erforderlich:

- Die Brücken und die vorhandenen Tore sind mittels Schwimmkran auszubauen. Die Brücken sind zwischenzulagern und die Tore entsprechend vor Ort oder in einer Werkstatt umzurüsten.
- Die modifizierten Hubtore sind in die Nischen einzufädeln und auf dem Drempel abzusetzen.
- Die Hydraulikanlagen sind anzuschließen und im Anschluss die Brücken wieder einzusetzen.

Kosten

Für den Einbau der Schütze in die Hubtore der Nebenöffnung 1, 2 bis 5 werden Gesamtkosten in Höhe von € 7,5 Mio. erwartet.

6.2.3 Teilvariante T.2.c, einschwimmbare Sohlschwelle

Diese Lösung sieht vor, dass die Nebenöffnungen 1 und 2 bis 5 durch einschwimmbare Sohlschwellen verschlossen werden. Der Querschnitt dieser technischen Lösung ist in Abbildung 6-14 sowie weitere detaillierte Darstellungen in den Zeichnungen Nr. 113-S-10-1 und -2 dargestellt. Die Konstruktion ist so vorgesehen, dass sich die Schwellenhöhe durch einen oberen Teil zwischen den gewünschten Grenzen NN – 1 m bis NN – 2 m einstellen lässt. Deswegen ist diese Lösung nicht nur reversibel sondern auch flexibel. Allerdings sind beide Eigenschaften nur in der zeitlichen Qualität „jährlich“ erreichbar, weil der Aufwand zum Ein- und Ausschwimmen der Sohlswellen bzw. zur Verstellung (zumindest wenn man – wie hier – von einer einfachen Form der Verstellungsmöglichkeit ausgeht) so hoch ist, dass eine „tägliche“ Anpassung nicht möglich ist.

Für den Ansatz einschwimmbaren Sohlswellen sind Anpassungen an den Pfeilern in Form von zusätzlichen HDPE-Leisten zur Führung und Abtragung der Horizontallasten erforderlich. Durch entsprechende Konstruktionen müssen die Schwimmkörper schwimmstabil gehalten werden. Beim Absenken der Sohlschwelle durch Fluten mit Wasser ist eine Führung an den Pfeilern zur kontrollierten Bewegung der Schwimmkörper erforderlich.

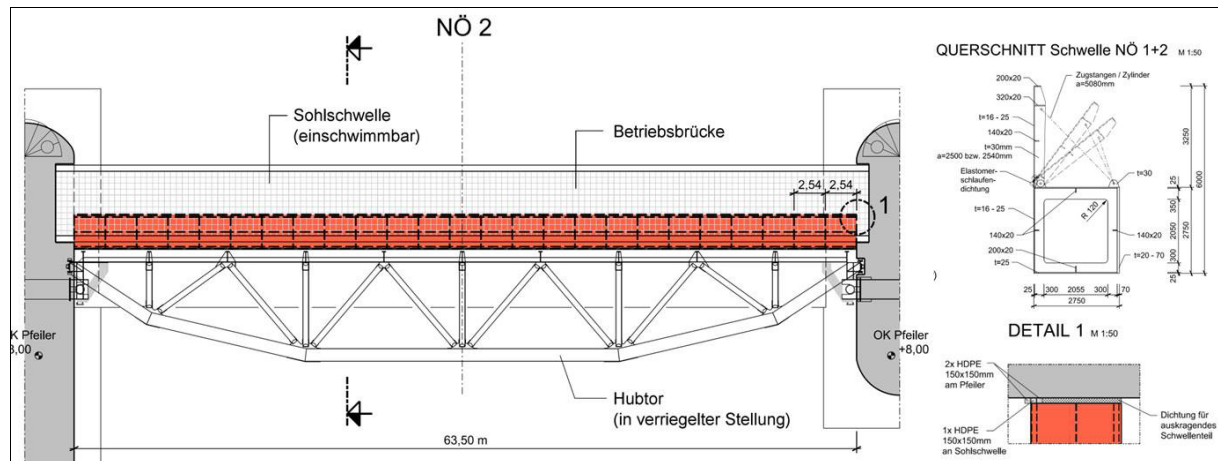


Abbildung 6-14: Variante T.2.c, einschwimmbare Sohlschwelle, Draufsicht und Details

Bauablauf

Folgender Bauablauf ist für die Montage der Sohlschwellen erforderlich:

- Anbringen HDPE-Anschlagleisten an den Pfeilern durch Verwendung von sog. Süllkästen.
- Einschwimmen der Sohlschwellen und Absetzen dieser durch Fluten vor den Hubtoren. Beim Absenkvorgang ist eine kontrollierte Schwimmlage der Sohlschwellen durch entsprechende Führungseinrichtungen notwendig. Es empfiehlt sich, die Hubtore in dem jeweiligen Verschluss für den Einschwimmvorgang zu schließen.

Kosten

Die Kosten für die einschwimmbaren Sohlschwellen in den Nebenöffnungen 1 und 2 bis 5 belaufen sich auf € 7,4 Mio.

6.2.4 Bewertung der Sohlschwellen, die in Kombination mit den vorhandenen Hubtoren funktionieren

Folgende Kriterien können für die Bewertung der Sohlschwellen herangezogen werden.

- Reversibilität und Flexibilität
- Ein- und Ausbaumöglichkeiten der Schwellen
- Wartungsaufwand
- Beeinflussung der bestehenden Sperrwerkfunktionen
- Kosten.

Reversibilität und Flexibilität

• **Geteilte Hubtore**

- Durch die mechanische Kopplung der beiden Hubtorteile kann der Ursprungszustand der Hubtore nahezu wieder hergestellt werden. Damit ist diese Lösung reversibel. Je nachdem, wie die Qualität der Kopplungsme-

chanismen ist, könnte auch eine Reversibilität mit „tägliche“ Qualität ermöglicht werden.

- Da die Höhe des unteren Hubtorteils in Schwellenfunktion nicht veränderlich ist, ist diese Lösung nicht flexibel.
- **Schütze in den Hubtoren**
 - Durch Öffnen und Schließen der Hubtore ist diese Lösung reversibel, auch mit der Qualität „täglich“. Wenn alle Schütztafeln in den Toren geschlossen sind, ist der heutige Zustand im Prinzip wieder hergestellt.
 - Diese Schwellenvariante ist eingeschränkt flexibel, entweder durch den Einsatz überströmter Schütztafeln oder aber durch das Schließen und Öffnen einer Teilmenge der vorgesehenen Verschlüsse.
- **Einschwimbare Sohlschwellen**
 - Diese Lösung ist reversibel. Aufgrund des relativ hohen Aufwands für das Einschwimmen und Ausschwimmen der Sohlschwellen allerdings nur in der Qualität „jährlich“.
 - Durch den einstellbaren oberen Teil der Schwelle ergibt sich auch eine Flexibilität, die je nach technischer Ausrüstung der Einstellvorrichtung sogar die Qualität „täglich“ erreichen könnte. In den Kosten eingerechnet ist hier aber ein einfacher Verstellmechanismus, der ähnlich wie bei der Reversibilität dieser Lösung zu einer Flexibilität mit der zeitlichen Qualität „jährlich“ führen würde.

Ein- und Ausbau der Schwellen

- **Geteilte Hubtore**
 - Für die Realisierung dieser Lösung ist eine aufwändige Montage bzw. Demontage der Hubtorteile einschließlich des Ein- und Ausbau der Antriebshydraulik erforderlich.
 - Auch eine Wiederherstellung und Einbau der ursprünglichen Hubtore wäre grundsätzlich möglich, wenn diese nicht entsorgt, sondern an Land zwischengelagert werden.
- **Schütze in den Hubtoren**
 - Die Montage der Schütze einschließlich der zugehörigen Antriebshydraulik kann nur in ausgebautem Zustand der Hubtore stattfinden.
 - Wenn die Hubtore einmal mit den entsprechenden Schütztafeln ausgestattet sind, ist ein Ausbau und Einbau einzelner Schütztafeln auch im eingebauten Zustand der Hubtore möglich.
 - Auch eine Wiederherstellung der ursprünglichen Zustands ist durch Rückbau der Schütze und Herstellen der ursprünglichen Stauhaut der Hubtore möglich.
- **Einschwimbare Sohlschwelle**
 - Es ist keinerlei Änderung an den vorhandenen Hubtoren erforderlich.
 - Die einschwimbaren Sohlschwellen können im Strömungsschatten der geschlossenen Tore einfach ein- und ausgeschwommen werden.

Wartungsaufwand

- **Geteilte Hubtore**
 - Bis auf die regelmäßige Wartung der Kopplungsmechanik für die beiden Hubteile ist nur mit einem relativ geringem Wartungsaufwand zu rechnen.
- **Schütze in den Hubtoren**
 - Wegen der vielen einzelnen Bauteile und der für viele Bauteile erforderlichen Antriebshydraulik ist mit einem hohen Wartungsaufwand für diese Lösung zu rechnen.
- **Einschwimbare Sohlschwelle**
 - Da kein aufwendiger Antrieb für das obere verstellbare Teil vorgesehen ist, ist insgesamt nur ein geringer Wartungsaufwand für diese Lösung erforderlich.

Beeinflussung der bestehenden Sperrwerksfunktion

- **Geteilte Hubtore**
 - Im Vergleich zum heutigen Zustand ist keine Beeinflussung der bestehenden Sperrwerksfunktionen zu erwarten, weil davon ausgegangen werden kann, dass sich der obere Teil der Hubtorverschlüsse in ähnlicher Qualität absenken lässt, wie die heutigen Hubtorverschlüsse.
- **Schütze in den Hubtoren**
 - Durch die hohe Anzahl an Schützen in den Toren kann es bei Versagen eines der Antriebe und Schütze zu Problemen mit der Sperrwerksfunktion im Staufall und auch im Sturmflutfall führen.
- **Einschwimbare Sohlschwelle**
 - Weil die einschwimbare Sohlschwelle nicht mit dem eigentlichen Hubtor verbunden ist, ist keine Beeinflussung der bestehenden Sperrwerksfunktion zu erwarten.

Zusammenfassende Bewertung der Schwellen

Die Variante einschwimbare Sohlschwelle erfüllt nahezu alle notwendigen Kriterien. Sie ist in allen Hubtoröffnungen und auch in der BSÖ denkbar. Sie erfüllt die Kriterien der Reversibilität und Flexibilität. Dies allerdings nur in der zeitlichen Qualität „jährlich“.

Es ist keinerlei Umbau an den vorhandenen Hubtoren erforderlich. Deswegen beeinflusst diese Schwelle die vorhandene Sperrwerksfunktion nicht. Die einfache Konstruktion der Schwimmkörper mit dem zugehörigen Verstellmechanismus macht sie robust.

Die Investitionskosten für die einschwimbaren Sohlschwellen sind mit denen der Variante Schütze in den vorhandenen Hubtoren vergleichbar. Sie liegen in jedem Falle unter denen der geteilten Hubtore. Die notwendigen Anpassungen der Pfeilerbauwerken können einfach hergestellt und realisiert werden.

Deswegen wird für die Entwicklung der Gesamtvarianten davon ausgegangen, dass als beste Variante, die im Zusammenhang mit den vorhandenen Hubtoren funktioniert, die einschwimbare Sohlschwelle herangezogen wird.

7 Gesamtvarianten

7.1 Übersicht über die zu untersuchenden Gesamtvarianten

Für die weitere Untersuchung werden, auch aus den vorgestellten technischen Detaillösungen, Varianten zusammengestellt, die ein weites Spektrum technisch möglicher Lösungen aufspannen und damit die Untersuchung unterschiedlicher Eigenschaften erlauben. Im Einzelnen werden folgende Varianten ausgewählt:

Gesamtvariante G.1.a

Diese Variante besteht aus der besten Teillösung für die Schwelle unter den Hubtoren. Dies ist die Variante T.2.c, die einschwimmbaren Sohlschwellen. Diese Lösung für die Hubtore wird mit der besten Teillösung für bewegliche Wehre in der HSÖ und BSÖ kombiniert. Dies ist die Variante T.1.a, die aus Drehsegmenten besteht, die vor die vorhandenen Verschlüsse gesetzt werden.

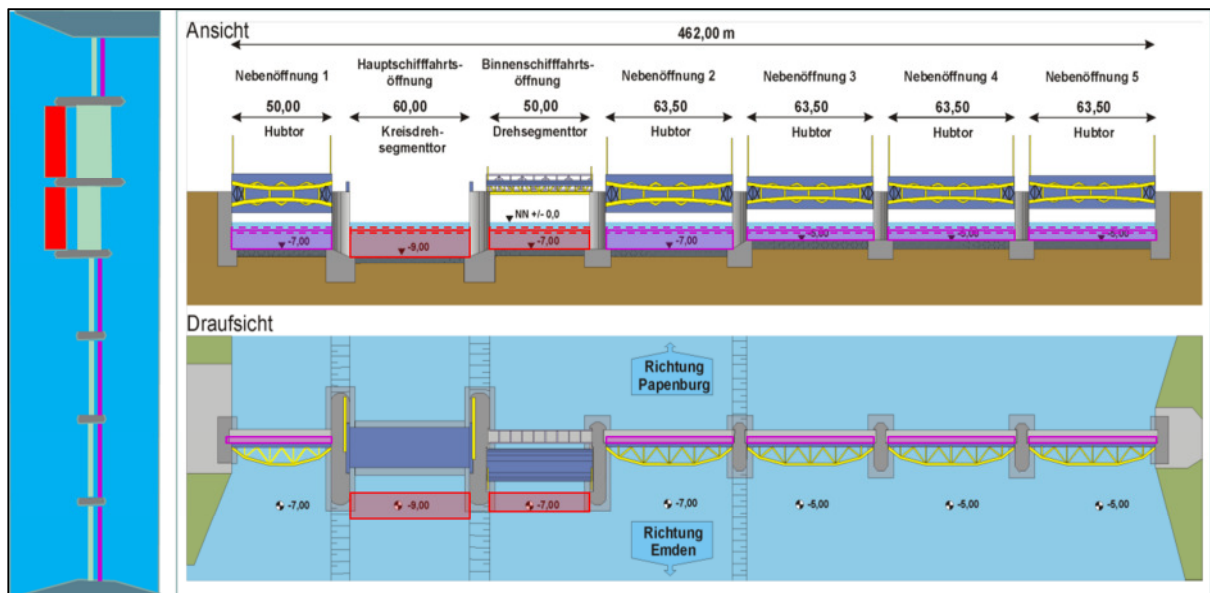


Abbildung 7-1: Variante G.1.a, Sohlschwelle aus einschwimmbaren Elementen und Drehsegmenten

Gesamtvariante G.1.b

Diese Variante besteht aus der besten Teillösung für bewegliche Wehre. Dies ist die Variante T.1.a, sie besteht aus einem Drehsegment. Diese Gesamtvariante sieht vor, jede Öffnung mit einem Drehsegment zu auszustatten.

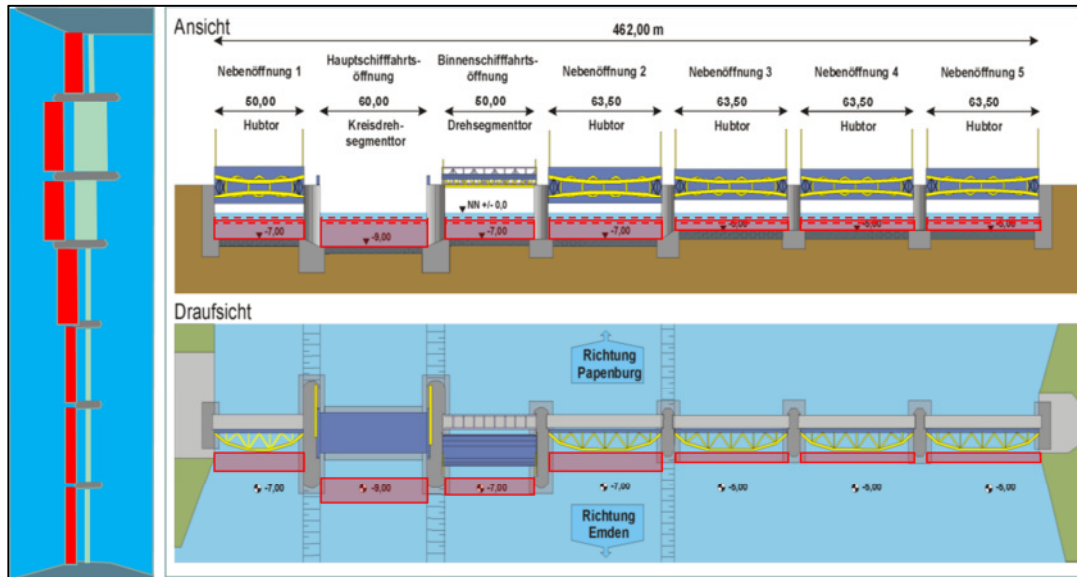


Abbildung 7-2: Variante G.1.b: Sohlschwelle auf der gesamten Breite – Drehsegmente in allen Öffnungen

Gesamtvariante G.2.a

Bei dieser Variante werden die Hubtore des Sperrwerks ohne weitere Veränderung für die Schwelle eingesetzt. Das heißt in der Schwellenfunktion „an“ werden die Tore geschlossen und in der Schwellenfunktion „aus“ werden die Tore geöffnet. Diese Lösung für die Hubtorverschlüsse wird kombiniert mit der besten Teillösung für ein Wehr in der HSÖ und BSÖ, dies ist die Variante T.1.a, die aus Drehsegmenten für diese beiden Öffnungen besteht.

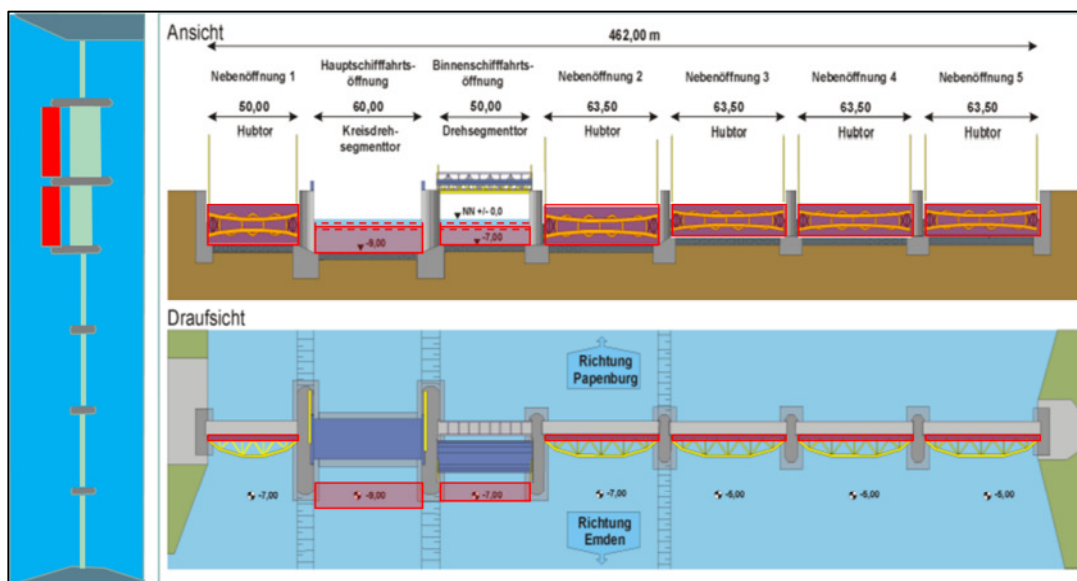


Abbildung 7-3: Variante G.2.a, Sohlschwelle aus Drehsegmenten vor HSÖ und BSÖ, Hubtore gemäß Bestand

Gesamtvariante G.2.b

Diese Variante kann auch als sog. erweiterte aktive Steuerung des Emssperrwerkes bezeichnet werden. Sie besteht darin, dass die Hubtore und die BSÖ für die Schwellenfunktion „an“ geschlossen werden und für die Schwellenfunktion „aus“ geöffnet werden. Für die Regelung des Abflusses wird der Verschluss der HSÖ als überströmtes Wehr genutzt, dies entspricht der Variante T.1.c.

Für diese Variante werden im Rahmen einer Untervariante die Kosten für Verwendung eines Drehsegmentes, welches vor die HSÖ gesetzt wird, ermittelt.

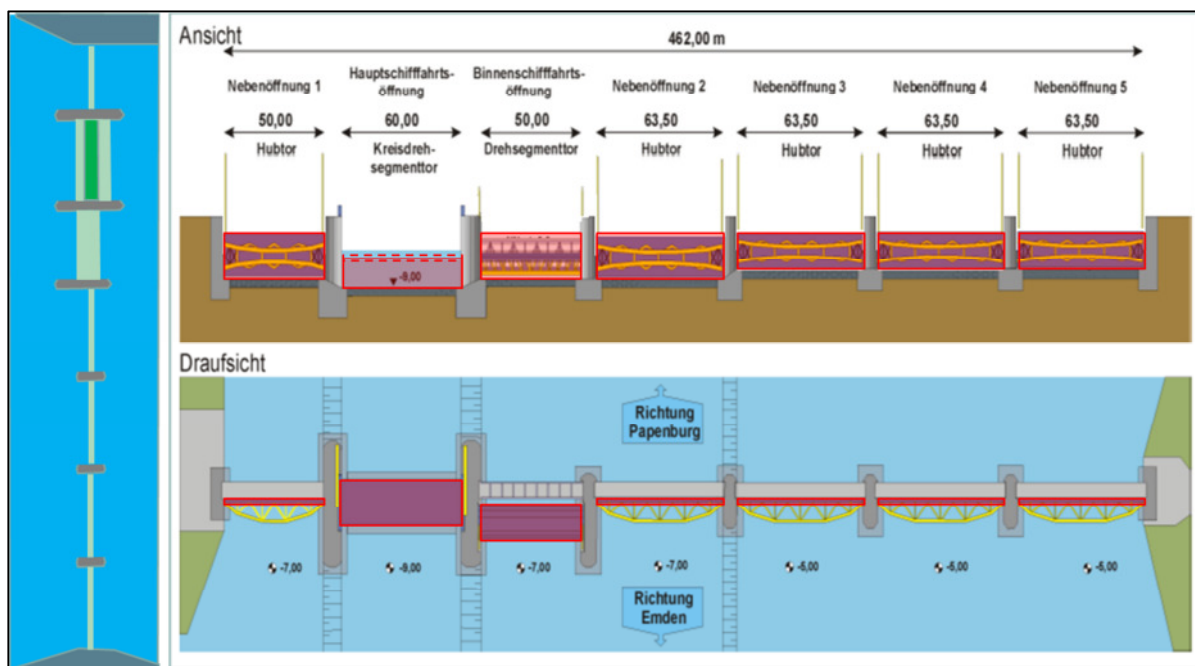


Abbildung 7-4: G.2.b: Sohlschwelle allein HSÖ, Erweiterte aktive Steuerung des Emssperrwerkes

Die Gesamtvarianten lassen sich in die beiden Gruppen G.1. und G.2 einteilen.

Bei der Gruppe G.1 erhalten alle Öffnungen zusätzliche Elemente für die Schwellenfunktionen. Mit anderen Worten, in der Schwellenfunktion „an“ befinden sich in allen Öffnungen Bauelemente, deren Höhe näherungsweise überall gleich ist, so dass sich der Abfluss über die gesamte Breite des Sperrwerkes verteilen kann.

Bei den Varianten der Gruppe G.2 werden die Hubtore ohne weitere bauliche Veränderungen bei der Schwellenfunktion „an“ geschlossen. Damit konzentriert sich die Strömung nur auf die HSÖ und BSÖ. In der Extremvariante ist vorgesehen, dass sich der Abfluss sogar nur auf die HSÖ konzentriert. Für diese Varianten sind deswegen unbedingt regulierbare Verschlüsse, also Wehre, in der HSÖ und BSÖ erforderlich, weil es – wie später noch gezeigt wird – nicht möglich ist, die Sohlschwelle durch eine konstante Höhe während des Zeitraumes Schwellenfunktion „an“ zu realisieren.

In Abbildung 7-5 sind die gewählten Gesamtvarianten in Form von Piktogrammen, die bereits in vorangegangenen Abbildungen vorgestellt wurden, dargestellt.

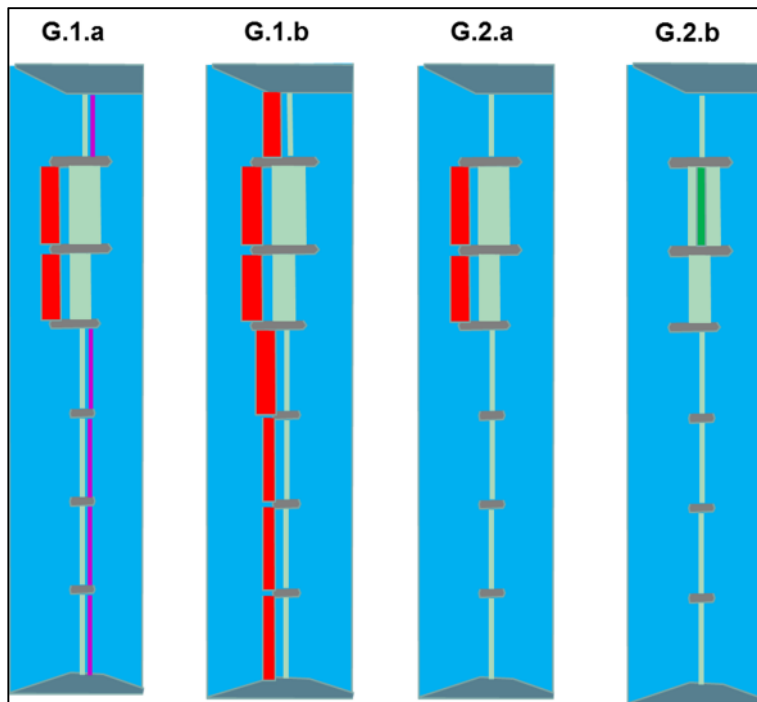


Abbildung 7-5: Übersicht zu den Gesamtvarianten

7.2 Gesamtvariante G.1.a

Diese Variante besteht, wie vorstehend beschrieben, aus der besten Teillösung für Sohlschwellen, die sich mit den vorhandenen Hubtoren kombinieren lassen, und der besten Teillösung für die beweglichen Wehre vor der HSÖ und BSÖ. Für die Hubtore wird die Lösung T.1.c „einschwimbare Schwelle“ vorgesehen, während in der HSÖ und BSÖ Drehsegmente zum Einsatz kommen sollen. Die Variante ist in Zeichnung 113-S-13-1 dargestellt.

Diese Lösung hat folgende Eigenschaften:

- Bei Schwellenfunktion „an“ befinden sich Schwellenelemente in allen Öffnungen des Sperrwerks, so dass der Abfluss über die ganze Breite des Sperrwerks verteilt wird.
- Diese Schwelle ist reversibel, wie es den Anforderungen an die Planung entspricht. Dabei besteht die Qualität der Reversibilität für die Wehre in der HSÖ und BSÖ aus einer „täglichen“ Bewegungsmöglichkeit, die auch erforderlich ist, um die Schifffahrt passieren zu lassen. An den Rändern der HSÖ zur Nebenöffnung 1 und der BSÖ zur Nebenöffnung 2 kann es bei der Funktion Sohlschwelle „aus“ im Übergang von einem völlig freien Fließquerschnitt zu einem Fließquerschnitt mit Bauelement für die Sohlschwelle zu Querströmungen kommen.
- Die Schwellen in den Hubtoren haben nur eine „jährliche“ Reversibilität. Deswegen ist die Reversibilität der Gesamtvariante auch nur „jährlich“.
- Die Schwelle ist insgesamt flexibel, wobei sich auch hier der vorgenannte Unterschied in der zeitlichen Qualität ergibt. Die Höhe der Sohlschwelle lässt

sich für die Wehre in der HSÖ und BSÖ täglich einstellen, für die vorgesehenen Einstellungsmöglichkeiten in den Schwimmkörperschwellen besteht eine „jährliche“ Qualität. Weil mit dieser Lösung ein gleichmäßiger Abfluss über alle Verschlüsse erreicht werden soll, bestimmt die Einstellmöglichkeit für die Schwellen in den Hubtoren die zeitliche Qualität der Flexibilität. Diese ist damit lediglich „jährlich“ gegeben.

- Insgesamt gehen von dieser Lösung nur minimale Anpassungsbedürfnisse an das vorhandene Sperrwerk aus. Diese bestehen im Wesentlichen aus der Anpassung der Pfeilerbauwerke für die Hubtorverschlüsse, um die entsprechenden Führungen für die einschwimmbaren Sohlschwellen zu realisieren.

Die Kosten für diese Lösung zeigt Tabelle 7-1. Die Kosten für reine Bautechnik belaufen sich auf € 33,1 Mio. Einschließlich der notwendigen Zuschläge für technische Bearbeitung und nicht einzeln erfasste Leistungen ergeben sich Gesamtkosten (netto) in Höhe von € 39,8 Mio.

Tabelle 7-1: Kosten der Gesamtvariante G.1.a

Pos.	Art	Leistung	GP in €
G.1.a.10		Nassbaggerarbeiten	850.544
G.1.a.20		Gründungsarbeiten, Drempe- und Pfeileranschluss	5.221.444
G.1.a.30		Massivbauarbeiten	5.565.419
G.1.a.40		Stahlwasserbau	21.509.538
Summe Bautechnik			33.146.945
Zuschläge			
	5%	Technische Bearbeitung	1.657.347
	15%	Nicht einzeln erfasste Leistung	4.972.042
Summe Zuschläge			6.629.389
Endsumme G.1.a			39.776.334

Vergleich der Aufstauwirkung

Die Lösung G.1.a und Lösung G.1.b gehen davon aus, dass in der Funktion Sohlschwelle „an“ der Abfluss über den gesamten Querschnitt verteilt wird. Diese technische Lösung entspricht weitgehend der Art und Weise, wie die Sohlschwelle in numerischen Modelluntersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau berücksichtigt ist. Deswegen wird an dieser Stelle eine Vergleichsberechnung mittels der Methoden der Gerinnehydraulik durchgeführt, um zu prüfen, ob die technische Lösung eine vergleichbare Aufstauwirkung erzeugt, wie das im numerischen Modell der Fall ist. Die nominelle Sohlschwellhöhe im numerischen Modell liegt bei NN – 1,5 m.

Abbildung 7-6 zeigt Berechnungsergebnisse dieses Vergleiches. Hierfür wurden aus den durch die Bundesanstalt für Wasserbau untersuchten Spring-Nipp-Zyklus die Zeitpunkte während der Schwellenfunktion „an“ herausgesucht, in denen verhältnismäßig hohe Abflüsse auftraten. Zu diesen Zeitpunkten wurden aus der Modellberechnung die Wasserstände für das Oberwasser und das Unterwasser entnommen. Liegt die Höhe im Unterwasser über der Höhe der Sohlschwelle von NN – 1,5 m, so ist der Überfall unvollkommen, was in der hydraulischen Berechnung durch einen Korrekturfaktor berücksichtigt wird. Durch Anwendung der Wehrformel nach POLENI werden die Oberwasserstände berech-

net und mit den Oberwasserständen des Modells verglichen. Der mittlere Fehler liegt lediglich bei 3 cm, was eine gute Übereinstimmung ist.

Vergleich der Oberwasserstände, Berechnung vollkommener Wehrüberfall ("Polini-Formel") mit Modellberechnung (BAW-Modell 2014)
(Quelle: Bollrich/Pleißler, Technische Hydromechanik, Bd. 1, S 400ff)

Berechnungsvorgaben										Berechnungen Wehr	
Schwellenhöhe BAW	[mNN]									-1,5	
Überfallbeiwert m	[1]									0,73	
Wehrlänge b	[m]									414	
Berechnungen Modell										Variante G.1.a	
Zeitpunkte mit hohem Abfluß, ggf. Beeinflussung durch unvollkommenen Überfall										Berechnung	Differenz
Zeit	h OW	h UW	Diff OW-UW	h _ü	Durchfluss	h _u	Überfall	h _ü /h _u	sigma uv	OW-Stand	Wehr - Modell
[Dat, Zeit]	[m NN]	[m NN]	[m]	bei NN-1,5m [m]	[m ³ /s]	bei NN-1,5m [m]	[-]	[-]		h OW [mNN]	h OW [m]
18.05.2010 21:20	-0,42	-2,17	1,75	1,08	998	-0,67	vollk.		1,00	-0,42	0,00
15.05.2010 06:50	-0,42	-2,19	1,77	1,08	1001	-0,69	vollk.		1,00	-0,42	0,00
11.05.2010 03:55	-0,41	-2,04	1,63	1,09	1003	-0,54	vollk.		1,00	-0,42	-0,01
18.05.2010 21:00	-0,34	-2,01	1,67	1,16	1098	-0,51	vollk.		1,00	-0,35	-0,01
15.05.2010 06:30	-0,34	-2,01	1,67	1,16	1100	-0,51	vollk.		1,00	-0,35	-0,01
06.05.2010 09:40	-0,31	-1,50	1,18	1,19	1102	0,00	unvollk.	0,00	1,00	-0,35	-0,04
12.05.2010 16:25	-0,25	-1,57	1,33	1,25	1199	-0,07	vollk.		1,00	-0,28	-0,03
14.05.2010 17:55	-0,26	-1,82	1,56	1,24	1200	-0,32	vollk.		1,00	-0,28	-0,02
11.05.2010 15:20	-0,25	-1,54	1,29	1,25	1201	-0,04	vollk.		1,00	-0,28	-0,03
15.05.2010 18:30	-0,18	-1,61	1,43	1,32	1299	-0,11	vollk.		1,00	-0,22	-0,03
14.05.2010 17:40	-0,18	-1,60	1,41	1,32	1300	-0,10	vollk.		1,00	-0,22	-0,03
17.05.2010 19:55	-0,18	-1,66	1,47	1,32	1300	-0,16	vollk.		1,00	-0,21	-0,03
20.05.2010 09:00	-0,09	-1,19	1,10	1,41	1399	0,31	unvollk.	0,22	1,00	-0,15	-0,06
08.05.2010 11:05	-0,02	-0,73	0,71	1,48	1401	0,77	unvollk.	0,52	0,97	-0,12	-0,10
13.05.2010 16:45	-0,11	-1,35	1,25	1,39	1402	0,15	unvollk.	0,10	1,00	-0,15	-0,04
18.05.2010 20:00	-0,04	-1,21	1,17	1,46	1495	0,29	unvollk.	0,20	1,00	-0,09	-0,05
16.05.2010 18:50	-0,03	-1,24	1,21	1,47	1500	0,26	unvollk.	0,18	1,00	-0,09	-0,05
13.05.2010 04:15	-0,03	-1,18	1,15	1,47	1500	0,32	unvollk.	0,22	1,00	-0,09	-0,06
mittlere Abweichung Wehrabfluss zu Modellberechnung :										-0,03	

Abbildung 7-6: Vergleichsberechnung Gerinnehydraulik, Zeitpunkte mit hohem Abfluss

Ferner wurden auch die Tideniedrigwasserzeitpunkte im Unterwasser der Sohlschwelle ausgewertet. Zu diesen Zeitpunkten ist der Wasserstandsunterschied zwischen Oberwasser (also die Papenburger Seite des Sperrwerkes) und Unterwasser maximal, allerdings sind dann die Abflüsse deutlich niedriger. Zu diesem Zeitpunkt kommt es immer zu einem vollkommenen Überfall über die Sohlschwelle.

Die Berechnungsergebnisse stellt Abbildung 7-7 dar. Der Vergleich der nach der Wehrformel berechneten Oberwasserstände mit den Oberwasserständen des Modells zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. Der mittlere Fehler liegt lediglich bei 1 cm.

Berechnungen Modell										Variante G.1.a	
Zeitpunkte mit Tnw im UW, vollkommener Überfall immer gegeben										Berechnung	Differenz
Zeit [Dat., Zeit]	h OW [m NN]	h UW [m NN]	Diff OW-UW [m]	h _ü bei NN-1,5m [m]	Durchfluss [m ³ /s]	h _u bei NN-1,5m [m]	Überfall [-]	h _ü /h _u [-]	sigma uv	h OW [mNN]	h OW [m]
06.05.2010 10:45	-0,57	-1,96	1,39	0,93	789	-0,46	vollk.	1,00		-0,58	-0,01
06.05.2010 23:40	-0,56	-1,99	1,42	0,94	792	-0,49	vollk.	1,00		-0,58	-0,01
07.05.2010 12:00	-0,64	-1,86	1,22	0,86	691	-0,36	vollk.	1,00		-0,66	-0,02
08.05.2010 00:40	-0,60	-1,94	1,34	0,90	741	-0,44	vollk.	1,00		-0,62	-0,02
08.05.2010 13:05	-0,56	-1,72	1,16	0,94	788	-0,22	vollk.	1,00		-0,58	-0,02
09.05.2010 02:15	-0,54	-1,86	1,32	0,96	812	-0,36	vollk.	1,00		-0,56	-0,02
09.05.2010 14:25	-0,52	-1,75	1,23	0,98	841	-0,25	vollk.	1,00		-0,54	-0,02
10.05.2010 03:25	-0,51	-1,95	1,44	0,99	857	-0,45	vollk.	1,00		-0,53	-0,01
10.05.2010 15:40	-0,48	-1,75	1,27	1,02	890	-0,25	vollk.	1,00		-0,50	-0,02
11.05.2010 04:25	-0,52	-2,15	1,63	0,98	865	-0,65	vollk.	1,00		-0,52	0,00
11.05.2010 16:35	-0,55	-2,11	1,56	0,95	820	-0,61	vollk.	1,00		-0,56	-0,01
12.05.2010 05:05	-0,53	-2,20	1,66	0,97	847	-0,70	vollk.	1,00		-0,53	0,00
12.05.2010 17:25	-0,49	-2,00	1,50	1,01	887	-0,50	vollk.	1,00		-0,50	-0,01
13.05.2010 05:55	-0,49	-2,13	1,64	1,01	900	-0,63	vollk.	1,00		-0,49	0,00
13.05.2010 18:15	-0,51	-2,22	1,71	0,99	884	-0,72	vollk.	1,00		-0,51	0,00
14.05.2010 06:35	-0,49	-2,31	1,82	1,01	912	-0,81	vollk.	1,00		-0,49	0,00
14.05.2010 18:55	-0,50	-2,32	1,81	1,00	892	-0,82	vollk.	1,00		-0,50	0,00
15.05.2010 07:15	-0,51	-2,28	1,77	0,99	882	-0,78	vollk.	1,00		-0,51	0,00
15.05.2010 19:40	-0,48	-2,21	1,73	1,02	917	-0,71	vollk.	1,00		-0,48	0,00
16.05.2010 07:55	-0,42	-1,99	1,57	1,08	989	-0,49	vollk.	1,00		-0,43	-0,01
16.05.2010 20:25	-0,47	-2,17	1,70	1,03	936	-0,67	vollk.	1,00		-0,47	0,00
17.05.2010 08:40	-0,47	-2,11	1,64	1,03	931	-0,61	vollk.	1,00		-0,47	0,00
17.05.2010 21:05	-0,48	-2,22	1,75	1,02	921	-0,72	vollk.	1,00		-0,48	0,00
18.05.2010 09:15	-0,47	-2,12	1,66	1,03	931	-0,62	vollk.	1,00		-0,47	0,00
18.05.2010 21:40	-0,49	-2,24	1,75	1,01	904	-0,74	vollk.	1,00		-0,49	0,00
19.05.2010 09:55	-0,51	-2,08	1,57	0,99	870	-0,58	vollk.	1,00		-0,52	-0,01
19.05.2010 22:30	-0,53	-2,30	1,77	0,97	849	-0,80	vollk.	1,00		-0,53	0,00
20.05.2010 10:40	-0,53	-2,13	1,59	0,97	842	-0,63	vollk.	1,00		-0,54	0,00
20.05.2010 23:15	-0,53	-2,28	1,75	0,97	850	-0,78	vollk.	1,00		-0,53	0,00
mittlere Abweichung Wehrabfluss zu Modellberechnung :											-0,01

Abbildung 7-7: Vergleichsberechnung Gerinnehydraulik, Tnw-Zeitpunkt im Unterwasser

Neben der Frage der Übereinstimmung zwischen der Wirkung der Sohlschwelle im numerischen Modell und der Wirkung der tatsächlich in der Natur zu realisierenden technischen Konstruktion, interessiert auch die Frage der Öffnungszeiten der Sohlschwelle zur Passage für die Schifffahrt. Mit anderen Worten, zu welchen Zeitfenstern können die Wehre in der HSÖ und BSÖ gehoben und wieder gesenkt werden, um eine Schifffahrt durch das Sperrwerk zu ermöglichen. Diese Frage wird im Rahmen der Untersuchung der Variante G.1.b nachgegangen.

7.3 Gesamtvariante G.1.b

Bei dieser Variante werden Wehre vor sämtlichen bestehenden Verschlüssen des Emssperrwerks vorgesehen. Als Verschlussart wird hier das Kreisdrehsegment als beste Teillösung für Wehre gewählt. Diese Gesamtvariante bietet eine sehr hohe Lösungsqualität, weil alle Planungsanforderungen perfekt erfüllt werden. Allerdings ist sie in Bezug auf die Investitions- und Unterhaltungskosten auch die teuerste Variante. Zeichnung 113-S-13-2 zeigt die Variante in Ansicht und Schnitten.

Diese Variante bietet die Schwellenfunktion über die Gesamtbreite des Sperrwerkes, also eine gleichmäßiger Verteilung des Abflusses, egal ob in Schwellenfunktion „an“ oder „aus“.

Die Qualität der Reversibilität sowie der Flexibilität ist in zeitlicher Hinsicht „täglich“. Auch bei Schwellenfunktion „aus“ gibt es keine Querströmungsbeeinflussung an den Rändern der Schifffahrtsöffnungen durch teilweise blockierte Fließquerschnitte wegen vorhandener Sohlschwellen in den Hubtoren.

Für diese Lösung ist auch keine Veränderung des bestehenden Sperrwerks notwendig, weil sämtliche Verschlüsse neben die vorhandenen Verschlüsse auf der Emdener Seite des Sperrwerkes angeordnet werden.

Die Kosten für diese Lösung sind in der Tabelle 7-2 dargestellt. Sie belaufen sich auf € 98,1 Mio. für die reine Bautechnik. Einschließlich der Zuschläge für technische Bearbeitung und nicht einzeln erfasster Teilleistungen werden die Gesamtkosten mit € 117,7 Mio. veranschlagt.

Tabelle 7-2: Kosten der Gesamtvariante G.1.b

Pos.	Art	Leistung	GP in €
G.1.b.10		Nassbaggerarbeiten	3.092.881
G.1.b.20		Gründungsarbeiten, Dremmel- und Pfeileranschluss	17.400.813
G.1.b.30		Massivbauarbeiten	33.846.969
G.1.b.40		Stahlwasserbau	43.736.388
Summe Bautechnik			98.077.051
Zuschläge			
		5% Technische Bearbeitung	4.903.853
		15% Nicht einzeln erfasste Leistung	14.711.558
Summe Zuschläge			19.615.410
Endsumme G.1.b			117.692.461

Aus hydraulischer Sicht ist diese Variante optimal, weil sich die Höhe der Wehre in allen Öffnungen vergleichsweise leicht und kurzfristig einstellen lässt. Damit wird eine Optimierung der Sohlschwelle im laufenden Betrieb sehr einfach möglich.

Anhand dieser Variante wird im Folgenden untersucht, wie groß das Zeitfenster etwa sein kann, in der die Schifffahrt das Sperrwerk bei Sohlschwelle „aus“ frei passieren kann.

Tidefenster Sohlschwelle „an“ oder „aus“ anhand der Variante G.1.b:

In Abbildung 7-8 sind 24 Stunden des durch die Bundesanstalt für Wasserbau untersuchten Spring-Nipp-Zyklus bei mittleren Tideverhältnissen dargestellt. Hier werden die Wasserstände im Oberwasser (blaue Kurve), die Wasserstände im Unterwasser (rote Kurve) und die Differenz zwischen den Wasserständen im Oberwasser und Unterwasser (grüne Kurve) gezeigt. Der Einfluss der Sohlschwelle ist deutlich durch den Aufstau bei Tideniedrigwasser erkennbar. Die Wasserspiegeldifferenzen erreichen bei diesen mittleren Verhältnissen ca. 1,5 m.

Es wird vorgeschlagen, etwa bei einem Wasserstand von NN +0,5 m die Sohlschwelle in die Funktion „an“ zu bringen. Dies geschieht bei dieser Variante durch Heben der Wehre auf die vorgesehene Sohlschwellenhöhe von NN – 1,5 m. Zu diesem Zeitpunkt beträgt gemäß der Tidekurven in Abbildung 7-8 die Wasserstandsdifferenz in der numerischen Modelluntersuchung rund 0,4 m.

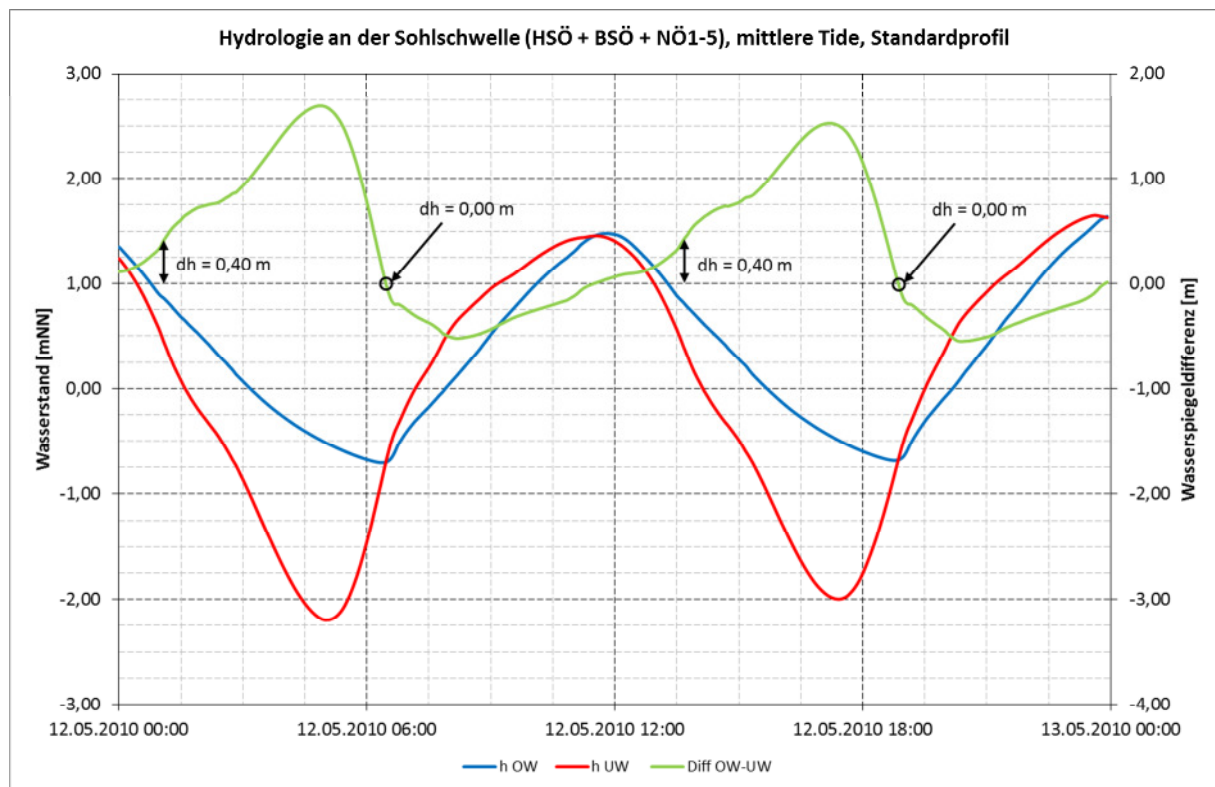


Abbildung 7-8: Tidekurven an der Sohlschwelle, Auszug aus Spring-Nipp-Zyklus, numerisches Modell BAW

Wie zuvor beschrieben geht die numerische Modelluntersuchung davon aus, dass die Sohlschwelle über den gesamten Tidezyklus mit der Höhe von NN - 1,5 m „an“ ist. Die berechnete Wasserspiegeldifferenz von 40 cm zeigt, dass bei den Wasserständen von NN + 0,5 m langsam eine Wirkung der Sohlschwelle auf den Abfluss und die Wasserstände einsetzt, deswegen ist bei „täglich“ Bewegung der Sohlschwelle sinnvoll, diese zu diesem Zeitpunkt in die Funktion „an“ zu bringen.

In Abbildung 7-9 wird der gleiche Ausschnitt des Spring-Nipp-Zyklus gezeigt. Markiert sind die Zeiten, in denen die Sohlschwelle „an“ ist (rot unterlegt), in denen also die Sohlschwelle für die Schifffahrt unpassierbar ist und ebenfalls sind die Zeiten markiert, in denen das Bauwerk offen ist und die Schifffahrt freie Durchfahrt hat. Danach beträgt die Öffnungszeit etwa 7 Stunden und die Schließzeit etwa 5 Stunden.

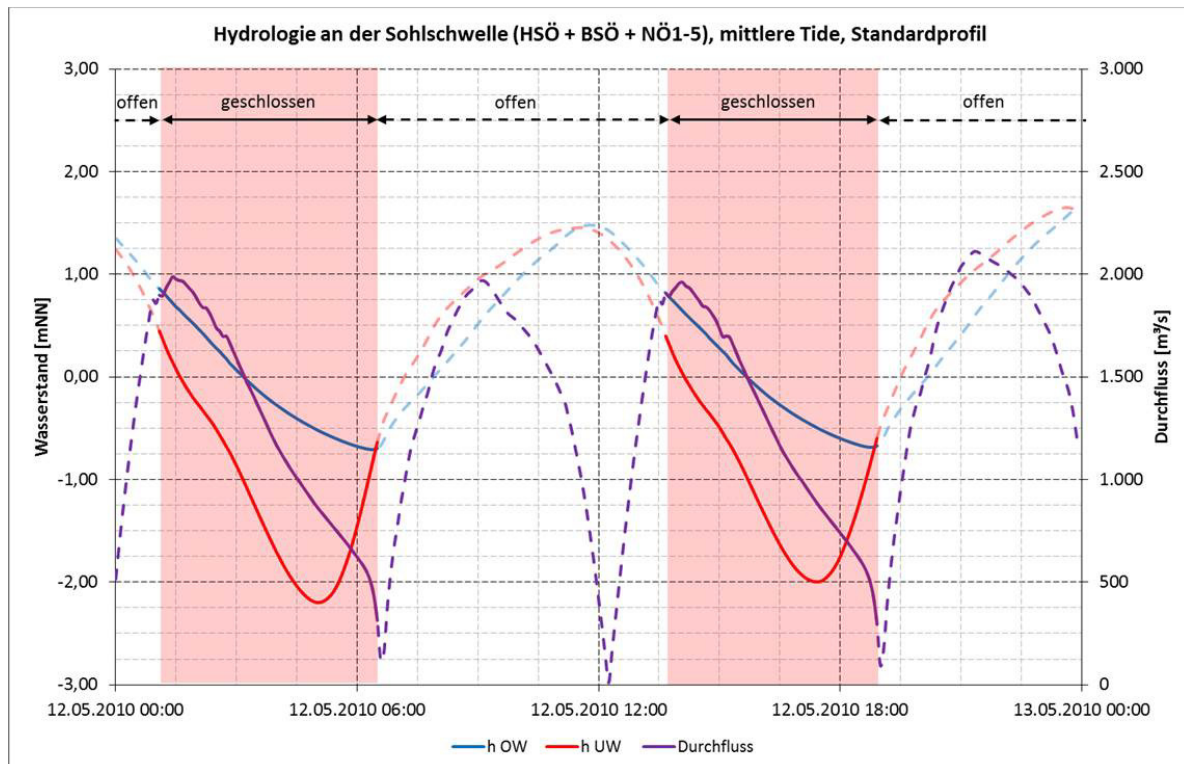


Abbildung 7-9: Tidekurven und Durchfluss, bei Sohlschwelle „an“ und „aus“

Die Abbildung 7-9 zeigt neben den Wasserständen im Unterwasser und Oberwasser auch den Abfluss. Dieser schwankt stark, etwa zwischen $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ und $0 \text{ m}^3/\text{s}$. Wegen der großen Breite des Sperrwerks und damit auch der großen Breite der Sohlschwelle, im hydraulischen Sinne also der großen Überfallbreite, ist der Einfluss des stark variierenden Abflusses auf die berechnete Höhe der Sohlschwelle nur gering, wie Abbildung 7-10 zeigt.

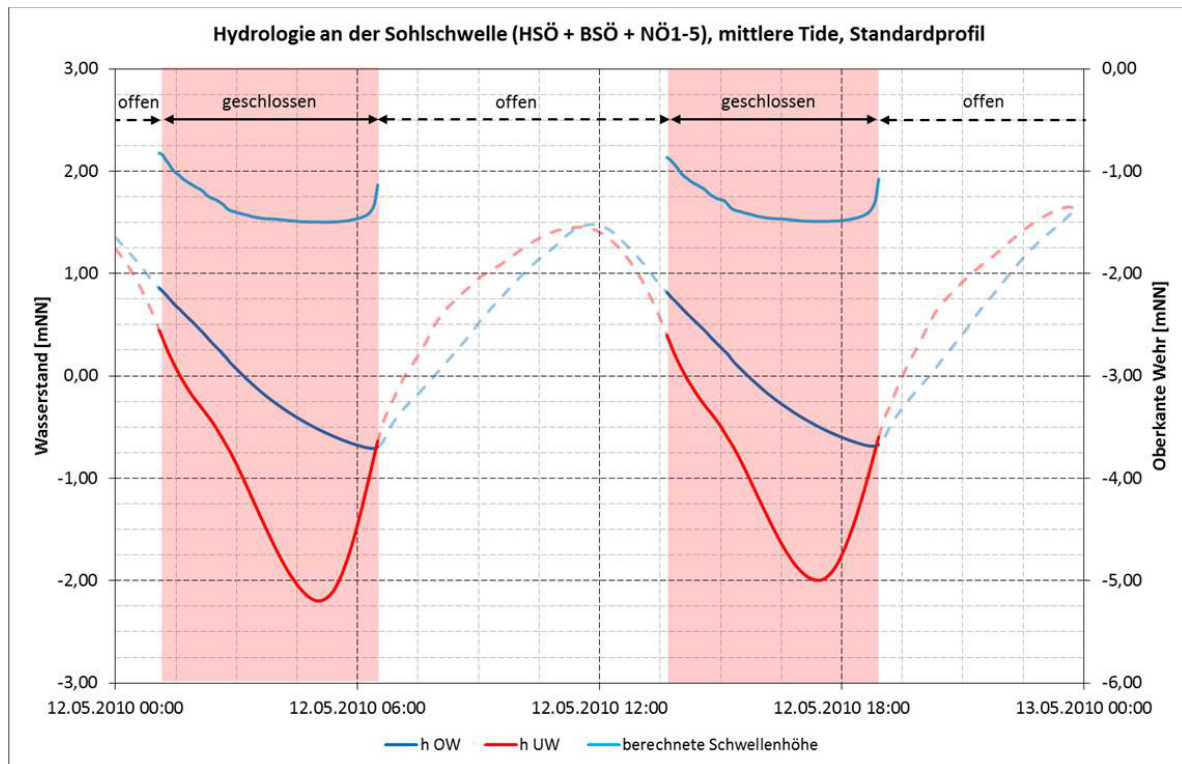


Abbildung 7-10: Tidekurven und berechnete Sohlschwellenhöhe bei Sohlschwelle „an“

7.4 Gesamtvariante G.2.a

Bei dieser Variante werden die Hubtore des Emssperrwerkes für die Schwellenfunktion „an“ genutzt. Für die BSÖ und HSÖ sind Wehre in Form von Drehsegmenten vorgesehen.

Diese Lösung bietet Reversibilität mit der Qualität „täglich“ und sie bietet auch Flexibilität mit der gleichen Qualität, weil die beiden Wehre in der HSÖ und BSÖ die Höhe der Schwelle bestimmen. Allerdings muss dabei auf eine konstante Schwellenhöhe verzichtet werden, wie die nachfolgenden hydraulischen Berechnungen zeigen.

Das Sperrwerk wird somit zum Teil der Schwelle und erfährt dadurch zusätzliche Belastungen, wie beispielsweise des Kolk-schutzes im Bereich der Hubtorverschlüsse, die regelmäßig bei jedem Niedrigwasser geschlossen werden müssten.

Die Kosten für diese Variante sind in der Tabelle 7-3 zusammengestellt. Die reinen Baukosten belaufen sich auf € 25,7 Mio., mit den Zuschlägen für technische Bearbeitung und für nicht einzeln erfasste Leistungen ergibt sich ein Kostenbudget (netto) von € 30,9 Mio.

Tabelle 7-3: Kosten der Gesamtvariante G.2.a

Pos.	Art	Leistung	GP in €
G.2.a.10		Nassbaggerarbeiten	850.544
G.2.a.20		Gründungsarbeiten, Dremmel- und Pfeileranschluss	5.221.444
G.2.a.30		Massivbauarbeiten	5.565.419
G.2.a.40		Stahlwasserbau	14.099.750
Summe Bautechnik			25.737.157
Zuschläge			
		5% Technische Bearbeitung	1.286.858
		15% Nicht einzeln erfasste Leistung	3.860.574
Summe Zuschläge			5.147.431
Endsumme G.2.a			30.884.588

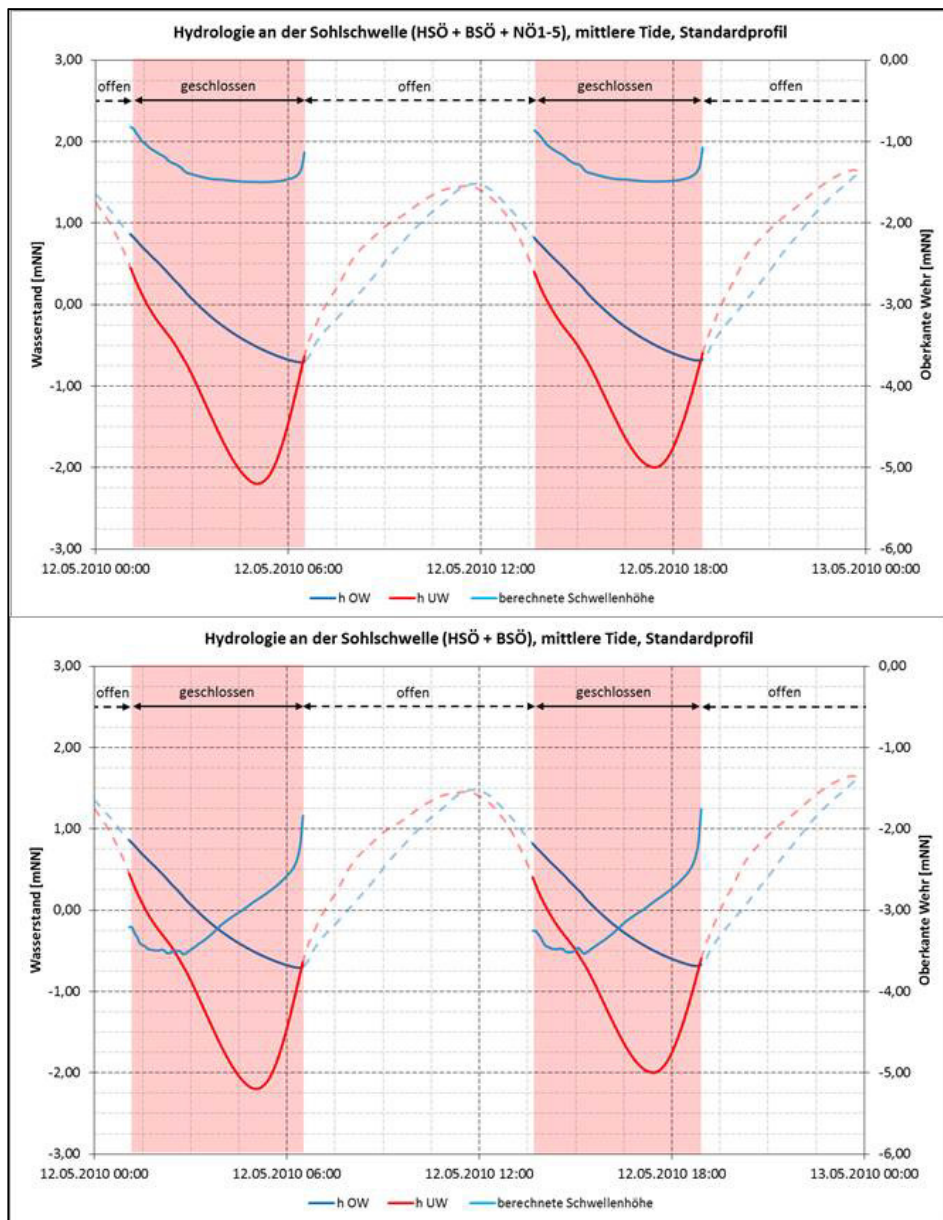


Abbildung 7-11: Vergleich G.1.b (oben) mit G.2.a (unten), berechnete Wehrschwellehöhe

Im Vergleich zu Variante G.1.b (Wehre vor allen Verschlüssen des Sperrwerkes) wird bei dieser Variante der Abfluss während der Phase Sohlschwelle „an“ auf die beiden Fließquerschnitte der HSÖ und BSÖ konzentriert. Die Abbildung 7-11 zeigt einen Vergleich zwischen diesen beiden Varianten. Dargestellt wird im oberen Teil der Abbildung die rechnerische Höhe der Schwelle, wenn alle Sperrwerksverschlüsse mit Wehren ausgestattet sind (Variante G.1.b) und im unteren Teil der Abbildung die Höhe der Schwelle der Variante G.2.a über dem Zeitraum Sohlschwelle „an“ (rot unterlegt in der Abbildung).

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Höhe der Sohlschwelle wesentlich niedriger liegt, weil die Sohlschwelle in Funktion „an“ nur noch die Breite der HSÖ und BSÖ aufweist. Während bei der Variante G.1.b die Höhenberechnungswerte zwischen NN -1 m und NN - 1,50 m liegen, schwanken bei dieser Variante die Sohlschwellenhöhen zwischen NN -3,50 m und etwa NN - 2,0 m.

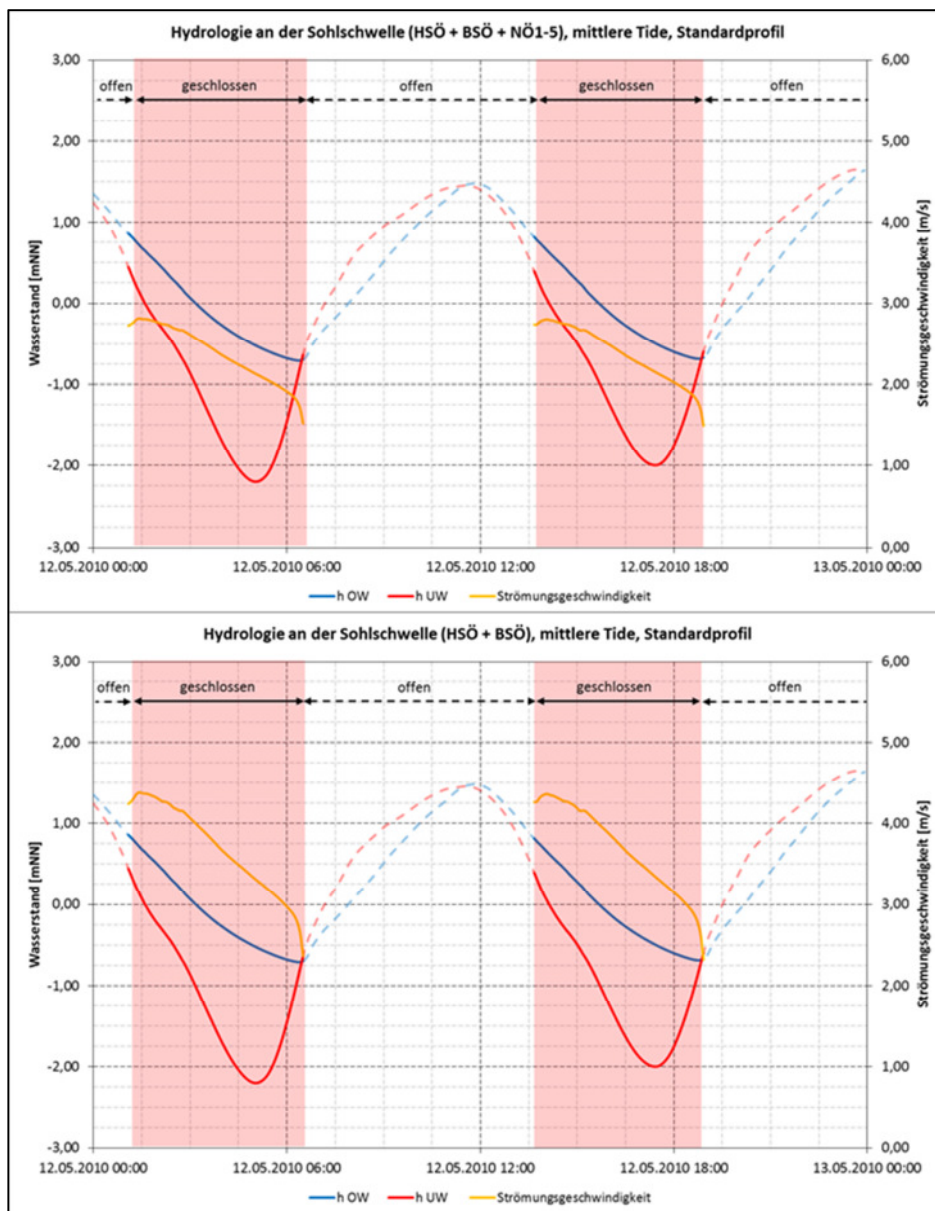


Abbildung 7-12: Vergleich G.1.b (oben) mit G.2.a (unten), rechnerische Fließgeschwindigkeit über dem Wehr

Die damit verbundene Einengung des Abflussquerschnittes schlägt sich naturgemäß auch auf die Strömungsgeschwindigkeiten nieder. Dazu wurden die rechnerischen Strömungsgeschwindigkeiten bestimmt, die sich aus dem Abfluss, dividiert durch die rechnerische Fließfläche, bestehend aus Schwellenbreite, multipliziert mit der Überfallhöhe ergibt.

Die Abbildung 7-12 zeigt hierzu die Ergebnisse. Diese liegen bei der Variante G.1.b etwa zwischen 1,5 und 2,8 m/s (oberer Teil der Abbildung) und bei der Variante G.2.a zwischen 2,5 und 4,3 m/s (unterer Teil der Abbildung).

7.5 Gesamtvariante G.2.b

Diese Variante ist sozusagen die nochmals reduzierte Version der vorstehend beschriebenen Variante G.2.a. Für die Schwellenfunktion „an“ werden sämtliche Hubtore des Sperrwerks und auch das Drehsegment der BSÖ geschlossen. Gleichzeitig wird das Kreisdrehsegment der HSÖ angehoben, so dass der Verschluss als Wehr dienen kann. Diese Variante kann auch als erweiterte aktive Steuerung des Emssperrwerks bezeichnet werden.

Diese Gesamtvariante ist reversibel mit der Qualität „täglich“, sie ist auch flexibel mit der gleichen Qualität. Bei dieser Variante wird das Sperrwerk vollständig zum Teil der Schwelle. Es kommt zu Wechselwirkungen, wie z.B. einer zusätzlichen Belastung des Kolksschutzes bei sämtlichen Verschlüssen.

Die Kosten dieser Variante entsprechen denen der Teilvariante T.1.c. Sie bestehen aus ggf. notwendigen Anpassungen der Dichtungen und ggf. notwendigen Verstärkungen der Antriebshydraulik. Damit entstehen möglicherweise Kosten in der Größenordnung von € 2,5 Mio., deren tatsächliche Notwendigkeit erst durch Versuche feststellbar wird.

Ähnlich wie bei der vorangegangenen Gesamtvariante kann die Sohlschwelle in der Funktion „an“ keine konstante Schwellenhöhe aufweisen. Weil alle Verschlüsse, bis auf die HSÖ, geschlossen sind, muss diese in ihrer Höhe dem Abfluss angepasst werden. Dies ist in Abbildung 7-13 dargestellt.

Im oberen Teil der Abbildung ist die berechnete Schwellenhöhe eingetragen. Mit Beginn der Schwellenfunktion „an“ wird die Höhe des Kreisdrehsegmentes auf etwa NN – 5,5 m angehoben. Im weiteren Verlauf des Schließzeitraumes steigt diese auf NN – 1,50 m an. Im unteren Teil der Abbildung sind die rechnerischen Fließgeschwindigkeiten ausgewertet. Es zeigt sich, dass durch die Konzentration der Strömung auf nur einen Querschnitt die Fließgeschwindigkeiten bei Beginn der Schwellenfunktion „an“ etwa 5,3 m/s erreichen. Sie nehmen dann im Laufe der Schließzeit bis auf 3 m/s ab. Insgesamt liegen sie damit deutlich über den Fließgeschwindigkeiten der Variante G.1.b, aber auch immer noch deutlich über der Variante G.2.a, bei der HSÖ und BSÖ für den Abfluss zur Verfügung stehen.

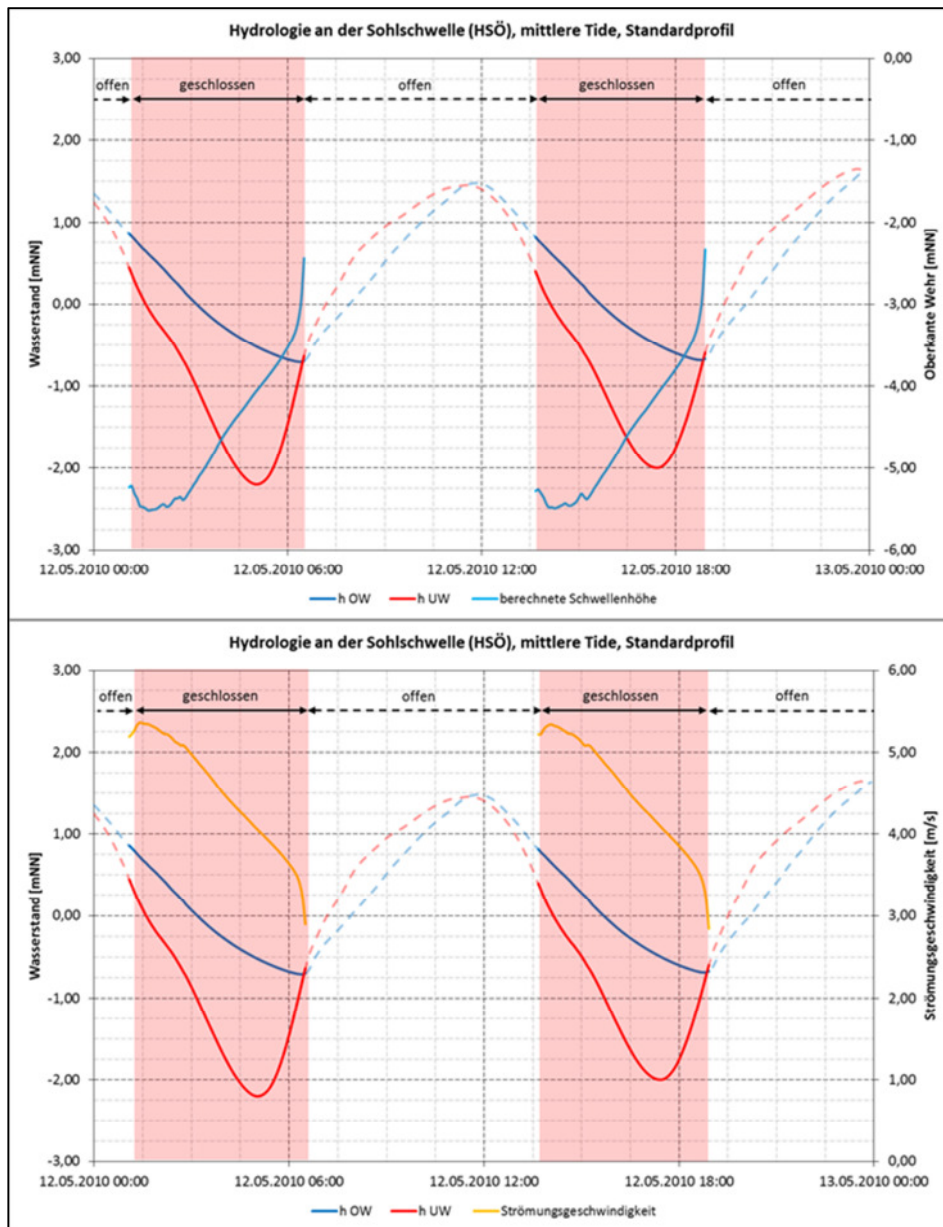


Abbildung 7-13: G.2.b, Berechnete Schwellenhöhe (oben) und rechnerische Fließgeschwindigkeit (unten) über dem Wehr

7.5.1 Belastung des Kolksschutzes

Ob der vorhandene Kolksschutz die regelmäßige Betätigung der Verschlüsse schadlos aufnehmen kann, ist im Vorhinein nur schwer einzuschätzen. Hier kommt es auch auf den tatsächlichen Betrieb an. Die Belastungen durch die Strömungssituation Wehrüberfall sind jedenfalls vergleichsweise gering. Dies soll anhand der nachfolgenden Grafiken verdeutlicht werden.



Abbildung 7-14: Strömungsbelastung Kolkenschutz, Unterströmung des Verschlusses (Schütz)

Zur Erläuterung ist das Kreisdrehsegment in Abbildung 7-14 in einer Stellung dargestellt, bei der dieser Verschluss wie ein Schütz unterströmt wird. Die Unterströmung von Schützen erzeugt hohe Strömungsgeschwindigkeiten an der stromabwärts liegenden Sohle. Die Strömungssituation „Schütz“ sollte daher an den Verschlüssen des Emssperrwerks nur vergleichsweise kurzzeitig auftreten, etwa beim Schließen und Heben der Hubtore oder des Drehsegmentes in der BSÖ.

Hinweis: Die hier für die HSÖ eingetragene Stellung ist rein hypothetischer Natur, die Bewegungskinematik des Verschlusses lässt eine solche Stellung im gegenwärtigen Zustand nicht zu.

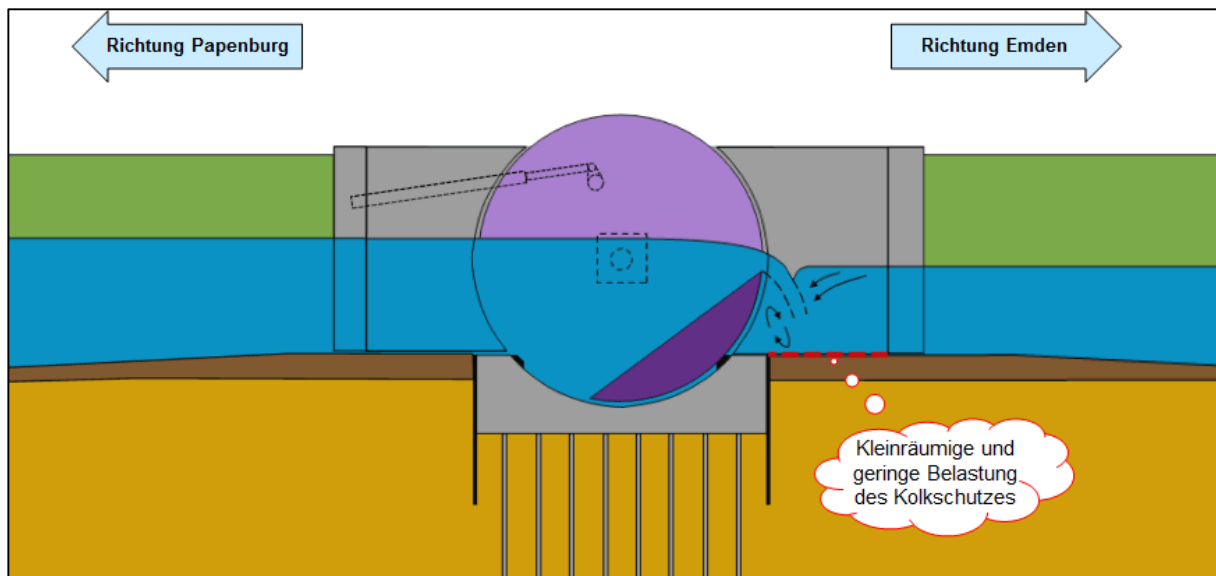


Abbildung 7-15: Strömungsbelastung Kolkenschutz, Überströmen des Verschlusses (Wehr)

In der Abbildung 7-15 ist das Kreisdrehsegment in der Stellung Wehr, wie sie in etwa beim Betrieb als Verschluss für die Sohlschwelle auftreten würde, eingetragen. Es kommt zu einem Überfall des Wassers über den Verschlusskörper, der dann aber in ein tiefes Wasserpolster von etwa 7 – 9 m Tiefe fällt. Dieses Wasserpolster dämpft den Überfallstrahl erheblich, so dass es lediglich zu kleinräumigen und vergleichsweise geringen Belastungen des Kolkschutzes kommt.

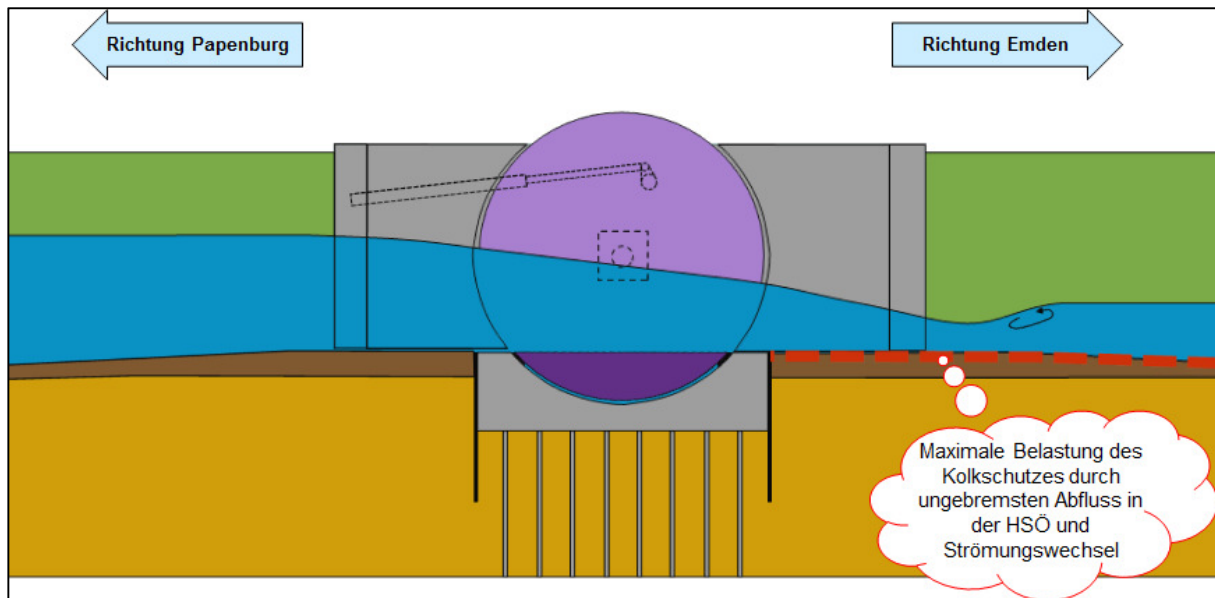


Abbildung 7-16: Freie Durchströmung der HSÖ mit Fließwechsel

In Abbildung 7-16 ist eine Strömungssituation dargestellt, wie sie auftreten kann, wenn sämtliche Verschlüsse des Sperrwerkes bis auf den der HSÖ geschlossen sind. Durch die Konzentration des Abflusses auf einen noch 60 m breiten Abschnitt wird die Strömung hier entsprechend stark beschleunigt. Bei hohen Abflüssen, wie sie beispielsweise während der Flutphase auftreten, kann es zu einem Fließwechsel und einem danach folgenden Wechselsprung kommen, der zu maximalen Belastungen des Kolkschutzes im Unterwasser führt. Diese Strömungssituation ist etwa vergleichbar mit der eines Venturi-Gerinnen. Solche Strömungssituationen sollten nicht systematisch regelmäßig im Sperrwerksbetrieb auftreten, weil Stärke und Ausdehnung des Kolkschutzes des Sperrwerkes für solche Belastungen nicht ausgelegt sind.

7.5.2 Untervariante zur Gesamtvariante G.2.b

Von Interesse ist es, gegebenenfalls auf den Einsatz des Kreisdrehsegmentes als bewegliches Sohlswellenelement in der HSÖ zu verzichten und nur für diese Öffnung ein zusätzliches Drehsegment als Verschluss vorzusehen. Im Vergleich zu Variante G.2.a wird dabei auf das Drehsegment in der BSÖ verzichtet. Die technischen und hydraulischen Eigenschaften sind mit denen der Variante G.2.b vollständig identisch. Deswegen wird an dieser Stelle nur eine Kostenschätzung dargestellt, die in Tabelle 7-4 wieder gegeben ist. Die Gesamtkosten belaufen sich auf € 14,1 Mio. für die reine Bautechnik. Einschließlich aller Zuschläge für technische Bearbeitung und nicht einzeln erfasste Leistungen ergibt sich eine Gesamtkostenschätzung von € 17,0 Mio. (netto).

Tabelle 7-4: Kosten der Untervariante zur Gesamtvariante G.2.b

Pos.	Art	Leistung	GP in €
G.2.b.10		Nassbaggerarbeiten	457.163
G.2.b.20		Gründungsarbeiten, Dremmel- und Pfeileranschluss	3.217.021
G.2.b.30		Massivbauarbeiten	2.932.009
G.2.b.40		Stahlwasserbau	7.540.000
Summe Bautechnik			14.146.193
Zuschläge			
		5% Technische Bearbeitung	707.310
		15% Nicht einzeln erfasste Leistung	2.121.929
Summe Zuschläge			2.829.239
Endsumme G.2.b_UV			16.975.432

7.6 Bewertung der Gesamtvarianten

In diesem Kapitel werden die Gesamtvarianten einer verbalargumentativen Bewertung zugeführt. Zielsetzung ist es, die jeweiligen Vor- und Nachteile der Varianten herauszuarbeiten und für den Leser verständlich zu machen. Dabei wird wie folgt vorgegangen:

- Eigenschaften und technische Sachverhalte, die bereits auf der Ebene der Teilvarianten beurteilt und bewertet wurden, die also zur Auswahl der besten Teilvariante führten, werden bei Gesamtbewertung nicht erneut bewertet.
- Ziel, Bedingung oder auch Planungsanforderungen, die alle Varianten gleichermaßen erfüllen, werden ebenfalls bei der vergleichenden Betrachtung nicht mehr berücksichtigt, da sie ja nicht zur Differenzierung zwischen den Varianten beitragen.

Aus der Fülle und der Vielzahl der Anforderungen zu notwendigen Eigenschaften und Fähigkeiten der beweglichen Sohlschwelle wurden die folgenden Bewertungskriterien herausgesucht, die die vorgenannten Eigenschaften erfüllen:

Technische Qualität

- Reversibilität
- Flexibilität
- Robustheit, Betriebssicherheit
- Möglichkeiten zur Minimierung der Beeinflussung der Entwässerung.

Realisierung

- Bauzeitbedingte Einschränkungen der Werftüberführungen
- Möglichkeiten zur Realisierung eines zeitnahen Nutzungsbeginns.

Nautische Qualität

- Dauer des Tidefensters für Passage des Sperrwerks
- Leichtigkeit und Sicherheit der Schifffahrt bei der Durchfahrt.

Beeinflussung des Sperrwerkbetriebs

- Unabhängigkeit von dem Betrieb als Sperrwerk
- Gefährdung der Sperrwerksfunktion durch Schiffsanprall.

Kosten

- Investitionskosten
- Unterhaltungskosten.

7.6.1 Bewertung der technischen Qualität

Reversibilität:

G.1.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Schwimmkörperschwellen bei Hubtoren)

- Die Schwellen unter den Hubtoren sind nur im Zeitmaßstab „jährlich“ reversibel, deswegen ist die Gesamtvariante auch nur in diesem Zeitmaßstab reversibel.

G.1.b: (überall Wehre)

- „täglich“

G.2.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Hubtore schließen)

- „täglich“

G.2.b (HSÖ als Wehr, alle anderen Tore schließen)

- „täglich“

Flexibilität

G.1.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Schwimmkörperschwellen bei Hubtoren)

- Auch die Flexibilität dieser Variante hat den Zeitmaßstab „jährlich“, da der vorgesehene Anpassungsmechanismus zur Veränderung der Höhe der Schwellen unter den Hubtoren nur nach dem Ausschwimmen der Schwellen betätigt werden kann.

G.1.b: (überall Wehre)

- „täglich“

G.2.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Hubtore schließen)

- „täglich“

G.2.b (HSÖ als Wehr, alle anderen Tore schließen)

- Die Flexibilität ist auch bei dieser Variante „täglich“, allerdings etwas eingeschränkt, weil die Konzentration des Tidestroms auf nur eine Öffnung auch den Wasserstand beeinflusst.

Robustheit, Betriebssicherheit

G.1.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Schwimmkörperschwellen bei Hubtoren)

- Die Drehsegmente als Wehre sind die robusteste Konstruktionsvariante.
- Die Schwimmkörper unter den Hubtoren kommen ohne aufwendige Steuerungsmechanik aus, deswegen sind auch sie als robust und betriebssicher anzusehen.

G.1.b: (überall Wehre)

- Die Drehsegmente als Wehre sind die robusteste Konstruktionsvariante.

G.2.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Hubtore schließen)

- Die Drehsegmente als Wehre sind die robusteste Konstruktionsvariante.
- Die regelmäßige Bewegung der Tore ist unschädlich für die Betriebssicherheit.
- Die Stabilität des Kolksschutzes im Bereich der Hubtore muss überwacht werden.

G.2.b (HSÖ als Wehr, alle anderen Tore schließen)

- Das Kreisdrehssegment der HSÖ als Wehr ist nach Anpassung ebenso robust und betriebssicher wie die Drehsegmente.
- Die regelmäßige Bewegung der Tore sind unschädlich für die Betriebssicherheit.
- Die Stabilität des Kolksschutzes im Bereich der Hubtore und der BSÖ muss überwacht werden.

Möglichkeit zur Minimierung der Beeinflussung der Entwässerung

G.1.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Schwimmkörperschwellen bei Hubtoren)

- Die Reversibilität ist nur „jährlich“ möglich, deswegen verfügt diese Variante über schlechtere Möglichkeiten zur Minimierung der Beeinflussung der Entwässerung.

G.1.b: (überall Wehre)

- Die Reversibilität ist täglich möglich. Deswegen hat diese Variante ein gutes Potential für Minimierung der Beeinflussung der Entwässerung.

G.2.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Hubtore schließen)

- dito

G.2.b (HSÖ als Wehr, alle anderen Tore schließen)

- dito

7.6.2 Realisierbarkeit der Lösungen

Bauzeitbedingte Einschränkungen der Werftüberführung

G.1.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Schwimmkörperschwellen bei Hubtoren)

- Der Bau der Wehre kann Einschränkungen verursachen. Dies sollte aber durch eine Berücksichtigung bei der Planung weitgehend vermieden werden können.

G.1.b: (überall Wehre)

- dito

G.2.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Hubtore schließen)

- dito

G.2.b (HSÖ als Wehr, alle anderen Tore schließen)

- Diese Variante hat bezüglich der Realisierbarkeit keinerlei Einschränkungen, da faktisch keine Baumaßnahmen notwendig sind.

Möglichkeiten zur Realisierung eines zeitnahen Nutzungsbeginns

G.1.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Schwimmkörperschwellen bei Hubtoren)

- Es ist eine vollständige Planung, Genehmigung und der Bau vor Nutzungsbeginn erforderlich. Damit ist ein sehr zeitnaher Nutzungsbeginn nicht möglich

G.1.b: (überall Wehre)

- dito

G.2.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Hubtore schließen)

- dito

G.2.b (HSÖ als Wehr, alle anderen Tore schließen)

- Es ist ein zeitnaher Nutzungsbeginn möglich, weil keine größeren Baumaßnahmen zur Realisierung dieser Variante notwendig sind. Der Umfang ggf. notwendiger Anpassungen von Dichtungen und Antriebstechnik kann durch Versuche ermittelt werden.

7.6.3 Nautische Qualität (Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs)

Dauer des Tidefensters für die Passage des Sperrwerks

G.1.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Schwimmkörperschwellen bei Hubtoren)

- Bei dieser Variante verbleiben Schwellenelemente in den Hubtorverschlüssen. An den Übergängen zu den Schifffahrtsöffnungen (HSÖ und BSÖ) kann es daher zu Querströmungseinflüssen kommen, die ggf. das verfügbare Tidefenster für die Passage des Sperrwerks reduzieren.

G.1.b: (überall Wehre)

- Optimale Bedingungen zur Maximierung des Tidefensters, da die Wehre schnell gehoben und gesenkt werden können

G.2.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Hubtore schließen)

- Gute Bedingungen, allerdings sind die Bewegungsdauern der Hubtore etwa länger als die der Drehsegmente.

G.2.b (HSÖ als Wehr, alle anderen Tore schließen)

- dito

Leichtigkeit und Sicherheit der Schifffahrt bei der Durchfahrt

Die hier vorgenommene Bewertung ist nur relativ zu verstehen, also als eine Bewertung zwischen den Varianten. Im Vergleich zum heutigen Zustand, bei dem das Sperrwerk jederzeit von der Schifffahrt passiert werden kann, sind natürlich alle hier untersuchten Lösungen eine Verschlechterung.

G.1.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Schwimmkörperschwellen bei Hubtoren)

- Bei dieser Variante verbleiben Schwellenelemente in den Hubtorverschlüssen. An den Übergängen zu den Schifffahrtsöffnungen (HSÖ und BSÖ) kann es daher zu Querströmungseinflüssen kommen, die ggf. die Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt bei der Durchfahrt beeinträchtigen.

G.1.b: (überall Wehre)

- Optimale Bedingungen, da alle Verschlüsse geöffnet werden

G.2.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Hubtore schließen)

- dito

G.2.b (HSÖ als Wehr, alle anderen Tore schließen)

- dito

Anmerkung zu Schwall und Sunk

- Zur Maximierung des Tidefensters für die Passage des Sperrwerkes für die Schifffahrt wären möglichst hohe Bewegungsgeschwindigkeit der Verschlüsse wünschenswert. Diese müssen aber auf der anderen Seite ausreichend klein sein, um Schwall- und Sunkwellen zu vermeiden.
- Aus den Berechnungen zur Auslegung des Sperrwerkes (IMS-Bericht 9094.01) ist zu entnehmen, dass die Abflussänderung $< 300 \text{ m}^3/\text{Min.}$ sein müssen, um nur geringfügige Schwall- und Sunkwellen zu verursachen. Die Abflussänderung durch das Heben und Senken der Schwelle sind aber sehr viel kleiner, weil es ja gerade Ziel des Bauwerkes ist, den Abfluss und Wasserstand nur langsam zu beeinflussen. Zu keinem Zeitpunkt wird das Sperrwerk vollständig geschlossen oder vollständig geöffnet.
- Die Sohlschwelle ist daher aus der Sicht der Schwall- und Sunkproblematik unkritisch. Die üblichen Bewegungsgeschwindigkeiten der Verschlüsse können ggf. auch für eine Maximierung des Tidefensters optimiert werden.

7.6.4 Bewertung der Beeinflussung des Sperrwerkbetriebs

Unabhängigkeit vom Betrieb des Sperrwerkes

G.1.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Schwimmkörperschwellen bei Hubtoren)

- Bei dieser Lösung besteht vollkommene Unabhängigkeit, da keine Verschlüsse des Sperrwerkes benutzt werden.

G.1.b: (überall Wehre)

- dito

G.2.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Hubtore schließen)

- Die Verschlüsse des Sperrwerkes werden teilweise genutzt.

G.2.b (HSÖ als Wehr, alle anderen Tore schließen)

- Alle Verschlüsse des Sperrwerkes werden genutzt.

Gefährdung der Sperrwerksfunktion durch Schiffsanprall:

Für die Bewertung wird davon ausgegangen, dass die Gefährdung im Wesentlichen nur bei HSÖ und BSÖ besteht, weil nur diese Öffnungen durch die Schifffahrt angefahren werden. Natürlich besteht auch ein geringes Restrisiko für einen Schiffsanprall an den Hubtoren, wenn Schiffe unkontrolliert in der Ems in der Nähe des Sperrwerkes treiben. Dieses Risiko besteht aber auch schon heute, da die Verschlüsse auch im angehobenen Zustand gefährdet sind.

G.1.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Schwimmkörperschwellen bei Hubtoren)

- Hier besteht keine Gefährdung, da keine Verschlüsse des Sperrwerkes benutzt werden.

G.1.b: (überall Wehre)

- dito

G.2.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Hubtore schließen)

- Das Gefährdungsrisiko wird gering eingeschätzt, da nur die Hubtore betroffen sind.

G.2.b (HSÖ als Wehr, alle anderen Tore schließen)

- Das Gefährdungsrisiko ist im Vergleich zu Variante G.2.a höher, da auch die Verschlüsse in der HSÖ und BSÖ Teil der Schwelle werden.

7.6.5 Kosten

Investitionskosten

G.1.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Schwimmkörperschwellen bei Hubtoren)

- 33,1 Mio. € netto

G.1.b: (überall Wehre)

- 98,1 Mio. € netto

G.2.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Hubtore schließen)

- 25,7 Mio. € netto

G.2.b (HSÖ als Wehr, alle anderen Tore schließen)

- 2,5 Mio. € netto

G.2.b – Untervariante (Wehr in HSÖ, alle anderen Tore schließen)

- 14,1 Mio. € netto

Unterhaltungskosten

Die Unterhaltungskosten werden mit etwa € 5 % der Herstellungskosten abgeschätzt. Danach ergibt sich folgende Übersicht:

G.1.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Schwimmkörperschwellen bei Hubtoren)

- 1,6 Mio €/Jahr

G.1.b: (überall Wehre)

- 4,9 Mio €/Jahr

G.2.a: (Wehre in HSÖ und BSÖ, Hubtore schließen)

- 1,3 Mio €/Jahr

G.2.b: (HSÖ als Wehr, alle anderen Tore schließen)

- 0,13 Mio €/Jahr

G.2.b – Untervariante (Wehr in HSÖ, alle anderen Tore schließen)

- 0,71 Mio €/Jahr

7.6.6 Bewertungsübersicht

Die Bewertung ist in der Tabelle 7-5 zusammengestellt. Sie ist im vergleichenden Sinne zu verstehen. Sie wurde erstellt, um Unterschiede zwischen den Varianten zum Ausdruck zu bringen und damit das Verständnis der Unterschiedlichkeit der Varianten zu erleichtern. Eine Bewertung im Sinne einer Empfehlung zur Verfolgung der einen oder anderen Variante ist damit nicht beabsichtigt.

Mit den Zeichen sind folgende Bedeutungen verknüpft:

- + = tendenziell positiv zu bewerten
- o = akzeptabel
- = tendenziell negativ zu bewerten.

Bei der Betrachtung der Varianten im Vergleich können folgende Feststellungen getroffen werden:

Die Qualität der Reversibilität und Flexibilität ist bei der Variante G.1.a (einschwimmbare Sohlschwellen unter den Hubtoren) schlechter als bei anderen Varianten, weil mit dieser Variante lediglich die zeitliche Dimension der Reversibilität und Flexibilität von „jährlich“ erreicht werden kann. Die Abwertung der Variante G.2.b (nur HSÖ) erfolgt aufgrund der wahrscheinlich geringeren Beeinflussbarkeit des Wasserstandes infolge der Strömungskonzentration auf nur einen Querschnitt.

Bei den Kriterien Robustheit und Betriebssicherheit erhalten die beiden Varianten (G.1.a und G.1.b), die komplett auf eine Nutzung der bisherigen Verschlüsse des Sperrwerks verzichten, die beste Bewertung. Die besten Möglichkeiten zur Minimierung der Entwässerung und Beeinflussung haben die Varianten, die eine „tägliche“ Reversibilität und auch „tägliche“ Flexibilität erlauben, weil es mit ihnen leichter ist, bei erheblichen Niederschlägen die Wasserstände in der Ems bei Niedrigwasser weiter abzusenken.

Bezüglich der Realisierbarkeit im Sinne von kurzfristig und auch ohne weitere Einschränkungen, schneidet natürlich die Variante G.2.b (nur die HSÖ wird als Sohlschwelle eingesetzt) am besten ab, weil zeitraubende Planungen, Genehmigungen nicht notwendig sind und die Sperrung der HSÖ für das Errichten eines Bauwerkes entfällt.

Die beste nautische Qualität erreichen alle die Varianten, die eine „tägliche“ Reversibilität erlauben und die auch Querströmungsbeeinflussung an den Rän-

dern zu den Schifffahrtswegen vermeiden. Das sind die Varianten G.1.b, G.2.a und G.2.b.

Bezüglich der Beeinflussung des Sperrwerkbetriebs, werden die Varianten positiv beurteilt, die unabhängig von den bisherigen Verschlüssen funktionieren. Dies sind die Varianten G.1.a und G.1.b. Etwas besser schneidet die Variante G.2.a ab, weil hier immerhin für die beiden Schifffahrtsöffnungen (HSÖ und BSÖ) getrennte Verschlüsse vorgesehen sind, so dass das Risiko eines Schiffsanpralls des Sperrwerksverschlusses minimiert wird. Naturgemäß bietet hier die Variante mit der alleinigen Verwendung der HSÖ die größte Interaktion. Würde man hier die Untervariante mit nur einem Wehr vor der HSÖ vorsehen, wäre deren Bewertung etwas positiver vorzunehmen.

Bezüglich der Kosten schneidet natürlich die Variante G.1.b, bei der vor sämtlichen Verschlüssen Wehre gesetzt werden, am schlechtesten ab. Hier sind die Investitions- und Unterhaltungskosten am höchsten, allerdings erreicht diese Variante auch die beste Qualität bei fast allen Kriterien mit Ausnahme der Realisierbarkeit. Die Varianten G.1.a und G.2.a bewegen sich aus Kostensicht in ähnlicher Größenordnung und werden hier deswegen gleich beurteilt. Besonders preiswert ist natürlich die G.2.b, weil hier praktisch keine Kosten anfallen. Allerdings weist diese Variante auch eine Reihe von Nachteilen auf, beispielsweise die große Beeinflussung des Sperrwerkbetriebs oder auch die weniger positive Bewertung in Bezug auf die Robustheit, die Betriebssicherheit und auch die Flexibilität.

Tabelle 7-5: Übersicht der Bewertung

Bewertungskategorie: technische Qualität					
Bewertungskriterien	G.1.a	G.1.b	G.2.a	G.2.b	Bemerkungen
Qualität der Reversibilität	o	+	+	+	
Qualität der Flexibilität	o	+	+	o	
Robustheit, Betriebssicherheit	+	+	o	o	
Möglichkeiten zur Minimierung der Entwässerungsbeeinflussung	o	+	+	+	
Bewertungskategorie: Realisierung					
Bauzeitbedingte Einschränkungen der Wertüberführungen	o	o	o	+	
Möglichkeiten zur Realisierung eines zeitnahen Nutzungsbeginns	o	o	o	+	
Bewertungskategorie: nautische Qualität					
Dauer des Tidefensters für die Durchfahrt	o	+	+	+	
Leichtigkeit und Sicherheit der Schifffahrt bei der Durchfahrt	o	+	+	+	
Bewertungskategorie: Beeinflussung des Sperrwerksbetriebs					
Unabhängigkeit von dem Betrieb als Sperrwerk	+	+	o	-	
Gefährdung der Sperrwerksfunktion durch Schiffsanprall	+	+	o	-	
Bewertungskategorie: Kosten					
Investitionskosten Bauwerke	o	-	o	+	
Unterhalts- und Wartungskosten der Bauwerke	o	-	o	+	

Betrachtet man die Bewertung der Varianten, so drängt sich auf, aufgrund der geringen Kosten die Wirksamkeit der Sohlschwelle durch Realisierung der Variante G.2.b im Versuch zu erproben. Gleichzeitig wäre feststellbar, ob die betrieblichen Verhältnisse dauerhaft akzeptabel sind. Sollte sich herausstellen, dass Belastungen der Konstruktion, des Kolksschutzes und auch Sicherheitsphilosophische Bedenken zu groß sind, dass andere teurere Lösungen zum Zuge kommen, können die dafür notwendigen Mittel auf der Basis der nachgewiesenen Wirksamkeit der Maßnahmen leichter eingeworben werden.

8 Zusammenfassung

Mit Datum von 27. Mai 2014 wird die IMS Ingenieurgesellschaft durch das Wasser- und Schifffahrtsamt Emden mit der Anfertigung einer Studie zur Untersuchung von beweglichen Sohlschwellen im Querschnitt des Emssperrwerks beauftragt. In den Jahren 2008 und 2009 hatte IMS bereits eine grundsätzliche Machbarkeitsstudie zur Möglichkeit der Errichtung einer Sohlschwelle in der Nähe des Emssperrwerks durchgeführt. Das Ergebnis dieser Studie bestand in technischen Lösungen, die sich aus festen Schwellen, teilweise beweglichen Schwellen und Schleusen zusammensetzten.

In der nachfolgenden Zeit wurden diese Lösungen innerhalb der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung und der interessierten Öffentlichkeit diskutiert. Daraus entstanden neue Anforderungen und neue Sichtweisen auf das Bauwerk Sohlschwelle. Es wird nunmehr die Möglichkeit in Betracht gezogen, dass das Bauwerk die Passage der Schifffahrt während des Tidehochwassers ermöglicht, aber die Schifffahrt auch während des Tideniedrigwassers, bei dem die Sohlschwelle in Betrieb ist, unterbrochen sein kann und der Bau von Schleusen damit entbehrlich werden könnte.

Trotz aller positiven Effekte der Sohlschwelle auf den Sedimenttransport sieht der Umweltschutz in der Errichtung einer Sohlschwelle eine weitere anthropogene Veränderung des Emsästuars, weil ein weiteres künstlichen Bauwerk errichtet werden müsse und die Ems damit zumindest zeitweises in eine Art Stillgewässer überführt würde.

Deswegen wurde beschlossen, eine Ergänzungsstudie zu beauftragen, die es zur Aufgabe hat, bewegliche Lösungen für die Sohlschwelle zu untersuchen, die reversibel und flexibel sind. Mit Reversibilität ist die Notwendigkeit gemeint, die Schwelle wieder legen zu können, mit Flexibilität ist die Eigenschaft der Sohlschwelle gemeint, die Höhe der Sohlschwelle an die Anforderungen anpassen zu können. Technische Lösungen, die reversibel und flexibel sind können durchaus unterschiedliche zeitliche Qualitäten mit sich bringen. Es können Lösungen gefunden werden, die eine „tägliche“ Reversibilität und Flexibilität erlauben, aber auch Lösungen, die dies nur saisonal also quasi „jährlich“ ermöglichen.

In der Studie werden zunächst technische Einzellösungen in Form von Teilvarianten untersucht, die dann in einem zweiten Schritt zu Gesamtvarianten zusammengestellt werden. Die Gesamtvarianten wurden unter dem Aspekt ausgewählt, ein möglichst breites Spektrum denkbarer Lösungen aufzuspinnen. Die Lösungen unterscheiden sich im Wesentlichen durch das Ausmaß der Verwendung der vorhandenen Bausubstanz des Emssperrwerks und erreichen in Bezug auf die Flexibilität und Reversibilität durchaus unterschiedliche zeitliche Qualitäten.

Die komfortabelste Lösung besteht aus dem Bau zusätzlicher Wehrverschlüsse auf der Emdener Seite des Sperrwerks vor jedem bestehenden Verschluss des Emssperrwerks. Diese Lösung funktioniert völlig unabhängig vom bestehenden Sperrwerk und bietet die beste Flexibilität und Reversibilität. Sie verursacht aber mit € 117,7 Mio. auch die höchsten Kosten aller Gesamtvarianten. Damit ist diese Variante aber immer noch erheblich günstiger als die in der Studie

2008/2009 untersuchten Varianten mit Schleusenbauwerken, die alle in der Größenordnung von € 160 Mio. Gesamtkosten lagen.

Das geforderte Planungsziel wird auch mit der Variante G.2.b erreicht, die eine Art Gegenpol zur vorgenannten Variante darstellt. Sie besteht in der Verwendung des Kreisdrehsegments in der HSÖ als überströmter Wehrverschluss unter Nutzung sämtlicher anderer Verschlüsse, also der Hubtore und des Drehsegmentes in der BSÖ nur zum Schließen und Öffnen bei Sohlwellenfunktion „an“ oder Sohlwellenfunktion „aus“. Diese Lösung nutzt die vorhandene Substanz des Emssperrwerks vollständig. Sie stellt gewissermaßen eine erweiterte aktive Steuerung des Sperrwerks dar. Naturgemäß ist eine solche Lösung mit den geringstmöglichen Investitionskosten verbunden. Sie werden hier mit € 2,5 Mio. abgeschätzt, ohne dass vollständig geklärt ist, ob diese Kosten überhaupt anfallen. Der derzeitige technische Zustand des Kreisdrehsegmentes würde die versuchsweise Erprobung dieser Gesamtvariante erlauben. Dies würde die Möglichkeit der versuchsweisen Feststellung der Wirksamkeit der Sohlschwelle bieten.

Zwischen diesen beiden Polen liegen die Varianten G.1.a und G.2.a. Sie erfordern Investitions- und Unterhaltungskosten in mittlere Größenordnung. Gleichwohl haben auch diese beiden Varianten einen durchaus unterschiedlichen Charakter. Bei der Variante G.1.a werden Sohlwellenelemente in sämtlichen Öffnungen vorgesehen, so dass der Abfluss insbesondere bei der Sohlwellenfunktion „an“ auf sämtliche Öffnungen verteilt wird. Bei der Variante G.2.a werden hingegen die vorhandenen Hubtore des Emssperrwerks genutzt, indem diese bei der Sohlwellenfunktion „an“ geschlossen werden. Der Abfluss wird dann über die beiden neu zu errichtenden Drehsegmente in der HSÖ und BSÖ abgeführt.

Hamburg, 17. Februar 2015

IMS Ingenieurgesellschaft mbH

gez. Ruland

gez. Falke

gez. Uecker

9 Verwendete Unterlagen

Dokumente und Berichte des WSA Emden

- [1] Bundesanstalt für Wasserbau, AZ: A3955010143, Ergebnisbericht „Aktionsprogramm des Bundes zur Reduzierung seines Unterhaltungsaufwandes und Minimierung der Verschlickung in der Unterems“, einschließlich des Nachtrags
- [2] Bundesanstalt für Gewässerkunde, BFG-Bericht Nr. 1693 „Ökologische Wirkungsanalyse der Auswirkungen einer Sohlschwelle im Ems-Ästuar am Sperrwerk Gandersum (Zwischenbericht), 2010
- [3] Arbeitsgemeinschaft Stahlwasserbau Emssperrwerk, „Ausführungsstatik“ (2000)

IMS-Berichte

- [4] 9094.01, Hydraulische Berechnung der Abflussleistung, Emssperrwerk bei Gandersum, Auftraggeber: Bezirksregierung Weser-Ems, Projektteam Emssperrwerk, 1997
- [5] 90122-01, Einengung des Querschnitts der Ems im Bereich des Emssperrwerks – Auflistung von Lösungsideen und Ableitung näher zu untersuchender Varianten, 2008
- [6] 90122-02, Einengung des Querschnitts der Ems im Bereich des Emssperrwerks – Bemessungsgrundlagen, 2008
- [7] 90122-04a, 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, 2009
- [8] 90122-05, Studie zur grundsätzlichen technischen Machbarkeit einer Einengung des Fließquerschnitts der Ems im Bereich des Emssperrwerks bei Gandersum – Vorstatik Massivbau, Stahlbau und Geotechnik, 2008
- [9] 90122-06, Studie zur grundsätzlichen technischen Machbarkeit einer Einengung des Fließquerschnitts der Ems im Bereich des Emssperrwerks bei Gandersum – Vorstatik Stahlwasserbau, 2008

Literatur

- [10] Bollrich & Preißler, Technische Hyromechanik 1, Verlag für Bauwesen, Berlin, 1992

Zeichnungsverzeichnis

Nr.	Zeichnungs-Nr.	Rev.	Titel	Maßstab
1.	113-S-13-1		Gesamtvariante G.1.a Übersicht und Querschnitte	1:100, 1:250, 1:2000
2.	113-S-13-2		Gesamtvariante G.1.b Übersicht und Querschnitte	1:100, 1:250, 1:2000
3.	113-S-10-1		Teilvariante T.2.c Einschwimbare Sohlschwelle NÖ 1 und 2	1:50, 1:100, 1:200
4.	113-S-10-2		Teilvariante T.2.c Einschwimbare Sohlschwelle NÖ 3 und 5	1:50, 1:100, 1:200
5.	113-S-11-1		Teilvariante T.2.b Hubtor mit Schützöffnungen NÖ 1 und 2	1:50, 1:100, 1:200
6.	113-S-11-2		Teilvariante T.2.b Hubtor mit Schützöffnungen NÖ 3 bis 5	1:50, 1:100, 1:200
7.	113-S-12-1		Teilvariante T.2.a Geteiltes Hubtor NÖ 1 und 2	1:50, 1:100, 1:200
8.	113-S-12-2		Teilvariante T.2.a Geteiltes Hubtor NÖ 3 bis 5	1:50, 1:100, 1:200



Ingenieurgesellschaft mbH

IMS Ingenieurgesellschaft mbH

Stadtdeich 7
20097 Hamburg

Tel. 040 32818-0
Fax 040 32818-139
info@ims-ing.de
www.ims-ing.de

A company in the Rambøll Group

