

Masterplan Ems 2050 – Machbarkeitsuntersuchung zur Tidesteuerung mit dem Emssperrwerk Gandersum



Dezember 2016

Bearbeitung

Andreas Engels

Reinhard Backer

Koordination und Bearbeitung

Dirk Post

Inhalt

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Einleitung | 9 |
| 1.1 | Ziele des Masterplans Ems 2050 | 9 |
| 1.2 | Übersicht der wasserbaulichen Maßnahmen zur Reduzierung des ungünstigen Feststofftransports | 11 |
| 1.3 | Ziel der Machbarkeitsuntersuchung und Aufgabenstellung | 13 |
| 2 | Gewässerspezifische Randbedingungen..... | 14 |
| 2.1 | Gebietsbeschreibung – von der Senne bis zur Nordsee..... | 14 |
| 2.2 | Ausschnitt aus der historischen Entwicklung der Außenems – Landgewinn und Gerinnegestalt | 16 |
| 2.3 | Ausschnitt aus der historischen Entwicklung der Unterems – Ausbau und Unterhaltung..... | 18 |
| 2.4 | Entwicklung der Gewässerbenutzung – Abwasser und Sole | 20 |
| 2.5 | Fazit der historischen Entwicklung in Außen- und Unterems – hohe Kosten und schlechte Gewässergüte..... | 21 |
| 2.6 | Die Brackwasserzone - hohe Trübung und starker Wandel..... | 21 |
| 2.7 | Veränderung des Sedimenttransports in die Unterems – Sedimentangebot, Tidepumpe und Sedimentfalle | 23 |
| 2.8 | Messwerte von Wasserstand, Schwebstoff-, Sauerstoff- und Salzgehalt..... | 26 |
| 2.8.1 | Beobachtete Wasserstandsentwicklung in der Unterems | 26 |
| 2.8.2 | Beobachtete Veränderung der Schwebstoff- und Sauerstoffkonzentrationen in der Unterems | 28 |
| 2.8.3 | Beobachtete Veränderung der Salzgehaltsverhältnisse in der Unterems | 31 |
| 3 | Das Emssperrwerk Gandersum | 34 |
| 3.1 | Bauwerksbeschreibung | 34 |
| 3.2 | Vorhandene Sohlsicherung | 36 |
| 4 | Studie zur Machbarkeit der Tidesteuerung mit dem Emssperrwerk Gandersum..... | 37 |
| 4.1 | Technische Machbarkeit der Tidesteuerung „Teilöffnung - NLWKN“ | 37 |
| 4.1.1 | Bisherige Naturversuche zur Tidesteuerung mit dem Emssperrwerk..... | 37 |
| 4.1.2 | Modelluntersuchungen zur Tidesteuerung mit dem Emssperrwerk und Entwicklung einer optimalen Variante..... | 39 |
| 4.1.3 | Erläuterung der Bemessungs-Strömungsgeschwindigkeiten und Erweiterung der Sohlsicherung am Emssperrwerk zur Variante „Teilöffnung-NLWKN“ | 46 |
| 4.1.4 | Beschreibung der gewählten Tidesteuerung „Teilöffnung - NLWKN“ | 47 |
| 4.1.5 | Betriebliche Belange zur Umsetzung der gewählten Tidesteuerung „Teilöffnung - NLWKN“ | 49 |
| 4.1.6 | Schlussfolgerung zur technischen Machbarkeit..... | 50 |
| 4.2 | Nutzeneffekte und Zielerreichungsgrad | 50 |
| 4.2.1 | Beschreibung der Effekte des Tidesteuerungsbetriebs | 50 |
| 4.2.2 | Schlussfolgerung zur Zielerreichung | 55 |
| 4.3 | Flächenbedarf | 56 |
| 4.4 | Raumwiderstände | 56 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.5 | Einschätzung möglicher Umweltauswirkungen..... | 58 |
| 4.5.1 | Beeinträchtigung durch Sohlverbau am Emssperrwerk (ESW)..... | 61 |
| 4.5.2 | Beeinträchtigung durch Verminderung der ökologischen Durchgängigkeit am Emssperrwerk (ESW)..... | 61 |
| 4.5.3 | Beeinträchtigung durch Veränderung der hydro-morphologischen Kennwerte . | 61 |
| 4.5.4 | Zusammenfassung und Fazit | 62 |
| 4.6 | Wasserwirtschaftliche Verträglichkeit | 64 |
| 4.7 | Verkehrliche Verträglichkeit..... | 65 |
| 4.8 | Verträglichkeit mit anderen Maßnahmen des „Masterplan Ems 2050“..... | 67 |
| 4.9 | Widerstandsfähigkeit der Maßnahme gegen Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs | 70 |
| 4.10 | Anpassungsfähigkeit und Nachsteuerungsmöglichkeit der Maßnahme | 70 |
| 4.11 | Planungs-/Genehmigungsverfahren und –dauer und der Umsetzung..... | 70 |
| 4.12 | Überschlägiger Kostenrahmen | 71 |
| 5 | Verzeichnis der Anlagen | 74 |
| 6 | Literaturverzeichnis | 75 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|--------------|--|----|
| Abbildung 1 | Tidesteuerung mit dem Emssperrwerk - Lage des Sperrwerks und Suchraum für den Flächenerwerb von 700 ha bis 2050 [NDS MU 2015b] | 10 |
| Abbildung 2 | Die Ems zwischen Borkum und Herbrum [HERRLING & NIEMEYER 2008]... | 15 |
| Abbildung 3 | Landgewinnung in Form von Einpolderungen im Bereich des Dollarts und der Emsmündung [VROOM et al. 2012]..... | 17 |
| Abbildung 4 | Strömung im Bereich der Außenems und des Dollarts (hier: maximale Geschwindigkeit bei Flut); Gegenüberstellung der Zustände von 1937 (links) und 2005 (rechts); der Vergleich verdeutlicht die Verlagerung der Plate Paapsand-Hund und die Abnahme der Strömung durch die Bucht von Watum bzw. die Stärkung des Ostfriesischen Gatjes [HERRLING & NIEMEYER 2008] | 18 |
| Abbildung 5 | Begradigungen der Unterems zwischen Pogum und Papenburg; Gegenüberstellung der Verhältnisse von 1898 (links) und 2005 (rechts) [HERRLING & NIEMEYER 2008] | 19 |
| Abbildung 6 | Asymmetrie im Feststofftransport (Verändert nach: DE VRIEND 2010)..... | 24 |
| Abbildung 7 | Asymmetrie der Tide – Prinzipskizze zur Veränderung der Wasserstandskennwerte | 27 |
| Abbildung 8 | Messstation Leer (in der Leda, rd. 4 km oberhalb der Mündung in die Ems), minimale Sauerstoffkonzentration (abnehmend) und maximaler Salzgehalt (zunehmend) an der Wasseroberfläche des Monats Juli im Zeitbereich 1984 bis 2014 [ENGELS 2015]..... | 31 |
| Abbildung 9 | Lage und Abmessungen des Emssperrwerks zwischen den Hauptdeichen und der Uferlinien der Ems [NLWKN 2016] | 34 |
| Abbildung 10 | Draufsicht und Ansicht (aus Richtung Emden) des Emssperrwerk im geöffneten Betriebszustand, Erläuterung: HSÖ (Hauptschifffahrtsöffnung, Drehsegment im geöffneten Zustand in Bodenmulde liegend), BSÖ (Binnenschifffahrtsöffnung, Drehsegment), NÖ1-5 (Nebenöffnungen 1 bis 5, Hubtore) | 35 |
| Abbildung 11 | Mit der Errichtung des Emssperrwerks eingebaute Sohlsicherung | 36 |
| Abbildung 12 | Maximale Strömungsgeschwindigkeiten im Fall „HSÖ und BSÖ offen“, aus ZANKE (2016)..... | 42 |
| Abbildung 13 | Übersicht über die maximal aufgetretenen Strömungsgeschwindigkeiten der Betriebssteuerungs-Varianten 1 bis 8 (vgl. Tabelle 2), aus ZANKE (2016) | 43 |
| Abbildung 14 | Entwicklung der Gewässersohle durch Steuerung der Variante „Teilöffnung-NLWKN“. oben: Tiefenplan der Ausgangssituation, Mitte: Gestalt der Sohle nach zwei Jahren, unten: Höhendifferenz. Randbedingungen: kontinuierlich erhöhter Tidehub, ganzjährige Tidesteuerung; Anmerkung zur Skalierung der Tiefenpläne: Rot (NHN +/- 0 m) bis Blau (NHN -10 m); Differenzenplan: Rot (-5,5 m) bis Blau (+5,5 m) | 45 |
| Abbildung 15 | Maximale (nicht zeitgleich auftretende), tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeit ober-, unterhalb und in den Toröffnungen des Emssperrwerks während der Tidesteuerungsvariante „Teilöffnung NLWKN“; schwarzer Rahmen: bestehende Sohlsicherung, Quelle der Abbildung: ZANKE (2016)..... | 46 |
| Abbildung 16 | Sohlsicherung mit Schüttsteinen der Schichtdicke >50 cm (Bereich 1, 138.000 m ²), >45 cm (Bereich 2 , Größe 92.000 m ²), und >25cm (Bereich 3, 92.000 m ²). | |

Quelle der Abbildung: IGB (2016), unter Verwendung der maximalen tiefengemittelten Geschwindigkeit der Bemessungstide aus ZANKE (2016)... 47

Abbildung 17 Schematische Darstellung der Spaltöffnungen (hellblau) mit Angabe der jeweiligen Sohlordinaten und Öffnungshöhen. Die HSÖ ist vollständig geschlossen. 48

Abbildung 18 Schematische Darstellung der Torsteuerung (Grundform), siehe auch Tabelle 3 48

Abbildung 19 Veränderung des Tidehochwassers zwischen Borkum und Herbrum durch den Tidesteuerungsbetrieb „Teilöffnung – NLWKN“; Quelle: Forschungsstelle Küste des NLWKN..... 52

Abbildung 20 Veränderung des Tidehubs zwischen Borkum und Herbrum durch den Tidesteuerungsbetrieb „Teilöffnung – NLWKN“; Quelle: Forschungsstelle Küste des NLWKN..... 53

Abbildung 21 Veränderung des Tidevolumens zwischen Borkum und Herbrum durch den Tidesteuerungsbetrieb „Teilöffnung – NLWKN“; Quelle: Forschungsstelle Küste des NLWKN..... 53

Abbildung 22 Verhältnis Ebbe- zu Flutdauer zwischen Borkum und Herbrum und dessen Veränderung durch den Tidesteuerungsbetrieb „Teilöffnung – NLWKN“; Quelle: Forschungsstelle Küste des NLWKN..... 54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Übersicht der Maßnahmen zur flexiblen Tidesteuerung (alle sechs Varianten sehen keine zusätzlichen Einbauten im bzw. am Emssperrwerk vor) 12

Tabelle 2 Übersicht der Steuerungsvarianten im Rahmen der modelltechnischen Ermittlung der Strömungsbelastung und Kolkbildung..... 41

Tabelle 3 Zeitablauf der Torsteuerung (Grundform) und der erwarteten Auswirkungen auf die Tide und auf den Feststofftransport 51

Tabelle 4 Übersicht der Varianten zur flexiblen Tidesteuerung (vgl. auch Tabelle 5)..... 60

Tabelle 5 Kostenschätzung der zusätzlichen Sohlsicherung am Emssperrwerk..... 72

Tabelle 6 Zusammenstellung der überschläglichen Kosten..... 73

Vorbemerkungen

Der hier vorliegende Bericht „Masterplan Ems 2050– Machbarkeitsuntersuchung zur Tidesteuerung mit dem Emssperrwerk Gandersum“ hat zum Ziel, den zu diesem Thema gefertigten Gutachten und vorliegenden Erkenntnissen einen Rahmen zu geben und kurz zu erläutern. Die Kernthesen wurden bereits Ende November im Arbeitskreis „Wasserbauliche Maßnahmen / Weitere Maßnahmen und Konzepte“ vorgestellt und angesprochen.

Im Laufe der Planungen seitens der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) und des Niedersächsischen Landesbetriebes für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) konnte im Herbst 2016 durch die Modifikation der unterschiedlichen Lösungsansätze ‚flexible Sohlschwelle‘ und ‚Tidesteuerung‘, beide Varianten so zusammengeführt werden, dass sie gemeinsam, mit verbesserten Optimierungsmöglichkeiten, weiter untersucht werden können. Ein entsprechender Beschlussvorschlag soll dem Lenkungskreis vorgelegt werden. Eine Entscheidung, wie ursprünglich im Masterplan vorgesehen, ‚flexible Sohlschwelle‘ **oder** ‚Tidesteuerung‘ würde damit obsolet.

Aufgrund der neuen, sehr positiven Entwicklung kurz vor Ende der Abgabefrist für die Machbarkeitsuntersuchungen, mussten wichtige Gutachten ergänzt oder umgestellt werden. Dies führte dazu, dass manche Berichte erst vor wenigen Tagen fertig gestellt und eingearbeitet werden konnten. Die gemeinsam entwickelte ‚flexible Tidesteuerung‘ bietet die Chance rasch einen großen Schritt bei der Verbesserung der Schwebstoffsituation in der Ems voran zu kommen.

Zusammenfassung

Die Veränderung der natürlichen Morphologie des Ästuars und der daraus hervorgehende negative Einfluss auf den Feststoffhaushalt führt besonders in den Sommermonaten zu hoher Schwebstoffkonzentration und zu Sauerstoffmangelsituationen. Dieses wirkt sich auf alle biologischen Qualitätskomponenten negativ aus, was insgesamt zur Verfehlung des guten ökologischen Potenzials und einem „nicht guten“ chemischen Zustand führt. Die Sohle der Ems und die Uferbereiche sind über weite Strecken stark verschlickt und sind von Flora und Fauna kaum besiedelbar. Die freie Binnenentwässerung über Sielzug wird durch das Zusetzen der Muhden und Tiefs behindert, Hafeneinfahrten und Häfen verschlickten, so dass die Aufwendungen für deren Unterhaltung, sowie auch für die der Bundeswasserstraße Ems, immens gestiegen sind [BOS et al. 2012, FGG EMS 2015, ENGELS 2016].

Der Masterplan Ems 2050 führt im Artikel 10 drei Maßnahmen ‚Tidesteuerung‘, ‚Sohlschwelle‘ und ‚Tidespeicherbecken‘ auf, die den Schwebstoffhaushalt positiv beeinflussen können. Für jede dieser Maßnahmen ist eine Machbarkeitsuntersuchung zu erstellen. Ende 2016 war der Termin für ‚Tidesteuerung‘ und ‚Sohlschwelle‘, Ende 2018 für die ‚Tidespeicherbecken‘. Im Masterplan Art. 10(8) sind die Punkte aufgeführt, die in der Machbarkeitsuntersuchung zu

bearbeiten sind. Sie werden hier im Kapitel 4 unter den Punkten 4.1 bis 4.12 in Anlehnung an die im Masterplan verwendete Nummerierung abgehandelt.

Für die ‚Tidesteuerung‘ wurden optimierte Steuerungsvarianten entwickelt und die Belastungen des Sperrwerks und der angrenzenden Sohle ermittelt. Die Variante „Teilöffnung – NLWKN“ ist nach derzeitiger Erkenntnis mit dem bereits bestehenden Emssperrwerk machbar. Es entsteht aber zusätzlicher Wartungs- und Personalaufwand und die Betriebskosten werden steigen. Die Sohlsicherung muss aus Gründen der Bauwerkssicherheit erweitert werden. Dazu ist ein Bereich jeweils oberhalb und unterhalb des Emssperrwerks zusätzlich zu sichern.

Die Auswirkungen der Tidesteuerung auf die hydrodynamischen Parameter und den Salzgehalt sind nur gering, die zu erwartenden Auswirkungen auf den Schwebstoffhaushalt jedoch sehr positiv (Gutachten FTZ Kiel, BAW, FSK des NLWKN). Es werden weniger Schwebstoffe in die Außen- bzw. Unterems eingetragen. Die Wirksamkeit reicht von der Knock bis nach Herbrum. Durch die abnehmenden Schwebstoffkonzentrationen kann ein verbesserter Sauerstoffhaushalt erwartet werden. Bei hohen Oberwasserabflüssen kann die Tidesteuerung ausgesetzt werden, da der Schwebstofftransport unter diesen Bedingungen ohnehin stromabwärts gerichtet ist.

Ziel der Maßnahme ist es, eine deutliche Verbesserung der Situation für alle ökologischen Komponenten in der Ems zu erreichen. Auch ist die Verbesserung der Schwebstoffsituation Voraussetzung dafür, dass die meisten weiteren Maßnahmen zur ökologischen Verbesserung Wirksamkeit entfalten können. Projekte, wie der Polder Coldemüntje müssten weniger Augenmerk auf den Sedimenteintrag legen. Dennoch entsteht durch die Tidesteuerung Kompensations-/Kohärenzbedarf. Die Erweiterung der Sohlsicherung und möglicherweise auch die zeitweise eingeschränkte ökologische Durchgängigkeit können erhebliche Beeinträchtigungen bedeuten. Der daraus resultierende Flächenbedarf kann entsprechende, aber voraussichtlich beherrschbare Raumwiderstände auslösen. Zur Ermittlung der tatsächlichen Auswirkungen der Tidesteuerung auf die abiotischen und biotischen Komponenten ist ein geeignetes Monitoring vorzusehen.

Aufgrund der geringen Auswirkungen auf die Hydrodynamik ist auch die wasserwirtschaftliche Verträglichkeit gegeben.

Die Schifffahrt wird je nach betrachtetem Steuerungsszenario und Nutzer (See-, Binnen-, Freizeitschifffahrt) unterschiedlich stark beeinträchtigt. Eine Verlagerung von Verkehren findet voraussichtlich nicht statt. Es sind Maßnahmen zur Minimierung der Beeinträchtigungen erforderlich.

Die Flexibilität und die Reversibilität macht die Maßnahme anpassungsfähig an besondere oder sich ändernde Randbedingungen (z.B. Sturmflut, Hochwasser oder Meeresspiegelanstieg) und wäre weiter optimierbar, wenn sich unerwünschte Wirkungen zeigen würden.

Zur Umsetzung der Tidesteuerung ist ein Planfeststellungsverfahren erforderlich. Nach Vorliegen einer Finanzierungszusage und eines vollständigen Antrags kann von einer Verfahrensdauer von 2 bis 4 Jahren ausgegangen werden.

Eine grob überschlägige Schätzung des Kostenrahmens geht von einem Mittelbedarf von 30-40 Mio. € sowie jährlichen Kosten von 2-7 Mio. € aus.

Fazit für die gemeinsame Lösung ‚flexible Tidesteuerung‘:

Art. 10 (8) Die **Machbarkeitsuntersuchungen** enthalten Einschätzungen zu folgenden Punkten:

1. **Technische Machbarkeit** → gegeben
2. **Nutzeneffekte / Zielerreichungsgrad (im Hinblick auf die Ziele des Masterplans innerhalb und außerhalb des Gewässers, sonstiger Nutzen)**
→ im Standardmodell nachgewiesen (FTZ Kiel; BAW); im erweiterten Modell in Arbeit (FSK)
3. **Flächenbedarf** → gering; Sohlsicherung ggf. plus Ausgleichsflächen
4. **Raumwiderstände** → gering bis nicht vorhanden (Ausgleichsflächen)
5. **Umweltrisikoeinschätzung**
→ keine ökologischen Kriterien erkennbar, die die Umsetzung ausschließen
6. **Wasserwirtschaftliche Verträglichkeit (Binnenentwässerung, Hochwasser- und Sturmflutschutz)**
→ je nach Szenario Auswirkungen gegeben, die zu beherrschen aber Möglichkeiten bestehen
7. **Verkehrliche Verträglichkeit** → eingeschränkt, Minimierungsmaßnahmen erforderlich
8. **Verträglichkeit mit anderen Maßnahmen des „Masterplan Ems 2050“** → verträglich, wirkt positiv
9. **Widerstandsfähigkeit der Maßnahme gegen Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs** → gegeben
10. **Anpassungsfähigkeit/Nachsteuerungsmöglichkeit der Maßnahme** → gegeben
11. **Planungs- / Genehmigungsverfahren und –dauer / Umsetzungsdauer**
→ nach Finanzierungszusage: Planfeststellungsverfahren, Baumaßnahmen 3-5 Jahre
12. **Überschlägiger Kostenrahmen.**
→ ca. 30-40 Mio. €; laufende Kosten rd. 2-7 Mio. € / Jahr

Die flexible Tidesteuerung ist geeignet, die Schlicksituation in der Unterems deutlich zu verbessern.

Sie ist technisch umsetzbar.

Je nach Steuerungsszenario sind Beeinträchtigungen der Binnenentwässerung und der Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs in unterschiedlichem Maße gegeben. Es bestehen Möglichkeiten diese zu minimieren.

Es entstehen voraussichtlich Kompensations-/ Kohärenzerfordernisse.

Entscheidungserhebliche Risiken bezüglich ihrer Umsetzung sind nicht erkennbar.

1 Einleitung

Über einen Zeitraum von mehreren hundert Jahren wandelte sich die Gestalt aller europäischen Küstenregionen sowie der Uferregionen entlang der dort mündenden Tideflüsse. Dieses geschah auch entlang der Tideems und an der niederländischen und deutschen Nordseeküste, westlich und östlich der trichterförmigen und stark verästelten Mündung. Dieser Wandel wurde zunächst durch natürliche Ereignisse, insbesondere Sturmfluten, verursacht, auf die die Küstenbewohner und Flussanrainer mit entsprechenden Schutzmaßnahmen reagierten. Außerdem erfolgte zunehmend eine Umgestaltung aus wirtschaftlichem Interesse. Hinsichtlich der Ökologie führten die Eingriffe zum Verlust von Lebensräumen, wie sie für den Mündungsbereich eines Tideflusses typisch sind. Neben der Umgestaltung der Küsten- und Uferregionen erfolgten über einen Zeitraum von vielen Jahrzehnten zahlreiche Eingriffe zur Optimierung der Flussgeometrie. Neben dem Küstenschutz stand dabei die Verbesserung des Schiffsverkehrs im Vordergrund. Die Wasserbaumaßnahmen der letzten drei Jahrzehnte führten besonders zur deutlichen Verschlechterung der Wasserqualität, insbesondere zur Zunahme der Schwebstoffkonzentration und drastischer Abnahme der Sauerstoffwerte. Zudem folgte daraus ein hoher und kostenintensiver Unterhaltungsaufwand.

Von der Europäischen Union (EU) wurden Richtlinien erlassen, die u.a. die Wiederherstellung oder Schaffung von Lebensräumen für Tiere und Pflanzen und die Entwicklung eines guten Zustands der Gewässer vorsehen, sowie die zeitliche Umsetzung der Maßnahmen regeln. An der Ems verlangt die EU die vollständige Umsetzung der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie, der Vogelschutz-Richtlinie, der Wasserrahmenrichtlinie und der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie. Aufgrund der Lage der Ems im Nordwesten der Bundesrepublik Deutschland erfolgt bei der Erfüllung der Vorgaben grundsätzlich eine grenzübergreifende Zusammenarbeit mit dem Königreich der Niederlande, wobei angestrebt ist, ökologische und ökonomische Interessen in Einklang zu bringen. Die Umsetzung der Vorgaben erfolgt auf deutscher Seite im Rahmen des „Masterplan Ems 2050“, der eine positive Entwicklung des Natur-, Wirtschafts- und Lebensraums anstrebt.

Ein vorrangiges Ziel ist es, mit geeigneten wasserbaulichen Maßnahmen den ungünstigen Feststofftransport des Flusses zu minimieren und damit die Gewässerökologie zu verbessern. Diese Zielerreichung ist unter anderem auch über eine günstige Beeinflussung der Tide mithilfe des Emssperrwerks umsetzbar. Dabei kann über einen zeitweisen Teilverschluss des Bauwerks der Durchflussquerschnitt der Ems eingeschnürt, damit die Tideeigenschaften günstig beeinflusst und der in die Ems hineinführende Feststofftransport reduziert werden.

1.1 Ziele des Masterplans Ems 2050

Die konkreten Ziele des Masterplans Ems 2050 sind zum einen die Schaffung und/oder Aufwertung der ästuartypischen Lebensräume und Arten mit dem Ziel, günstige Erhaltungszustände im Sinne der entsprechenden Richtlinien zu erreichen sowie der Schutz der Vögel und ihrer Lebensräume. Dafür sind Flächen mit einer Gesamtgröße von 700 ha vorgesehen, deren

Beschaffung durch das Land Niedersachsen bis 2050 in einem dafür vereinbarten Suchraum erfolgt (s. Abbildung 1) [NDS MU 2015b]. Zum anderen soll die Bundeswasserstraße Ems als leistungsfähiger Verkehrsweg für die Emshäfen sowie für die hafen- und wasserstraßenaffine Wirtschaft erhalten bleiben.

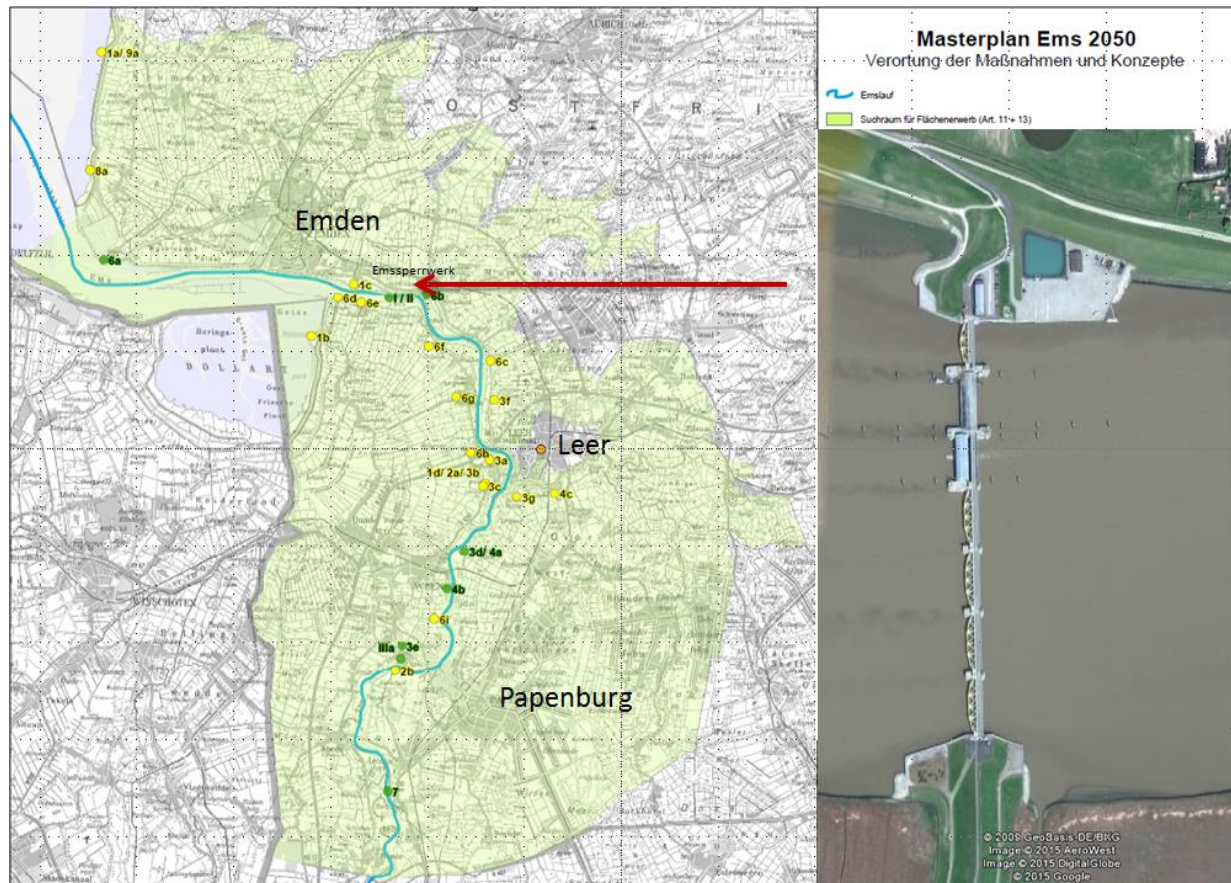


Abbildung 1 Tidesteuerung mit dem Emssperrwerk - Lage des Sperrwerks und Suchraum für den Flächenerwerb von 700 ha bis 2050 [NDS MU 2015b]

Ein vorrangiges Ziel des Masterplans ist die Lösung des Schlickproblems in der Unterems. Damit im Zusammenhang steht die Verbesserung des Gewässerzustandes in der Tideems, womit günstige Erhaltungszustände im Sinne der entsprechenden Richtlinien erreicht werden sollen. Dabei sind die Reduzierung des stromaufwärts gerichteten Feststofftransportes und die Verbesserung der Gewässerökologie (Gewässergüte, bessere Lebensbedingungen für die Gewässerfauna und -flora) angestrebt.

Die Maßnahmen „Tidesteuerung“ und „Tidespeicherbecken“ stellen wasserbauliche Lösungsansätze dar, die das Potenzial zur Verbesserung des derzeitigen Schlickproblems haben. Dieses wurde in einer bereits erfolgten Voruntersuchung des Forschungs- und Technologiezentrums Westküste der Christian-Albrechts-Universität Kiel (FTZ) ermittelt. Die ebenfalls in diesem Zusammenhang untersuchte feste Sohlschwelle im Bereich des Emssperrwerks wurde zwischenzeitig durch verschiedene flexible Varianten ersetzt. Eine vertiefte Machbarkeitsuntersuchung, die zu jeder Maßnahme anzufertigen ist, soll dem vom Lenkungskreis eingesetzten Arbeitskreis umfassende Informationen bieten, um abschließend einen Maßnahmenvorschlag vorbereiten zu können. Die Fertigstellung der Machbarkeitsuntersuchung zu den

Tidespeicherbecken ist laut Masterplan für 2018 vorgesehen; die hier vorliegende Studie behandelt die Machbarkeit der Tidesteuerung. Parallel hierzu fertigt die WSV eine Machbarkeitsuntersuchung zur Sohlschwelle. Der Lenkungskreis wird abschließend eine Empfehlung zur Umsetzung der weiteren erforderlichen Schritte aussprechen. [NDS STK 2014 und NDS MU 2015a und b]

1.2 Übersicht der wasserbaulichen Maßnahmen zur Reduzierung des ungünstigen Feststofftransports

Im Masterplan Ems 2050 sind zahlreiche Schritte aufgeführt, mit denen eine nachhaltige Verbesserung der ökologischen Situation der Ems geschaffen werden soll. Hinsichtlich der Lösung des Schlickproblems sind darin die prinzipiell geeigneten wasserbaulichen Maßnahmen Tidesteuerung mit dem Emssperrwerk, Sohlschwelle und die Tidespeicherbecken entlang der Ems genannt.

Das Land Niedersachsen, vertreten durch den Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), hat die Aufgabe, jeweils eine Machbarkeitsuntersuchung zu den Maßnahmen Tidespeicherbecken und Tidesteuerung (Variante „Teilöffnung – NLWKN“) anzufertigen. Die wasserbauliche Maßnahme in Form einer festen Sohlschwelle, die zunächst von der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) favorisiert wurde, ist durch flexible Varianten ersetzt worden, deren Machbarkeitsuntersuchung sich in der Verantwortung der WSV befinden. Vor Ort wird die WSV durch das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Emden vertreten (WSA Emden).

In der hier vorliegenden Machbarkeitsuntersuchung werden die Ergebnisse der Untersuchungen zur Tidesteuerung dokumentiert und die Machbarkeit der Variante „Teilöffnung – NLWKN“ ermittelt (siehe Variante 6 in Tabelle 1). Das WSA Emden wird die Studie zur Machbarkeit der von der WSV favorisierten Varianten 1 bis 5 vorlegen. Darüber hinaus ist vereinbart worden, dass der NLWKN die Einschätzung möglicher Umweltauswirkungen für jede der 6 Varianten vornimmt, während das WSA die Auswirkung der jeweiligen Auswirkungen auf den Schiffsverkehr durchführt.

Tabelle 1 Übersicht der Maßnahmen zur flexiblen Tidesteuerung (alle sechs Varianten sehen keine zusätzlichen Einbauten im bzw. am Emssperrwerk vor)

| Kürzel | Name | Beschreibung | Bearbeitung |
|-------------------|---|--|-------------|
| Variante 1 | Flexible Sohlschwelle 2 Stunden | Für eine Dauer von ca. 2 Stunden zu Beginn der Flut ist die Hauptschiffahrtsöffnung (HSÖ) des Emssperrwerks zum Teil geöffnet und alle anderen Tore komplett verschlossen. Die Funktionseigenschaft des HSÖ-Verschlusskörpers ist vergleichbar mit der einer Sohlschwelle. | WSA |
| Variante 2 | Flexible Sohlschwelle 4 Stunden | Für eine Dauer von ca. 4 Stunden zu Beginn der Flut ist die Hauptschiffahrtsöffnung (HSÖ) des Emssperrwerks zum Teil geöffnet und alle anderen Tore komplett verschlossen. Die Funktionseigenschaft des HSÖ-Verschlusskörpers ist vergleichbar mit der einer Sohlschwelle. | WSA |
| Variante 3 | Zeitweise Komplettschließung des Sperrwerks | Für eine bestimmte Dauer um Niedrigwasser ist das gesamte Emssperrwerk komplett verschlossen. | WSA |
| Variante 4 | Teilöffnung WSA | Für eine Dauer von ca. 4 Stunden zu Beginn der Flut ist die Hauptschiffahrtsöffnung (HSÖ) des Emssperrwerks komplett verschlossen, alle anderen Tore sind teilgeöffnet. | WSA |
| Variante 5 | Teilöffnung mit Sohlschwelle | Für eine Dauer von ca. 4 Stunden zu Beginn der Flut ist das gesamte Emssperrwerk teilgeöffnet. Die Funktionseigenschaft des HSÖ-Verschlusskörpers ist vergleichbar mit der einer Sohlschwelle. | WSA |
| Variante 6 | Teilöffnung NLWKN | Für eine Dauer von ca. 2,5 Stunden zu Beginn der Flut ist die Hauptschiffahrtsöffnung (HSÖ) des Emssperrwerks komplett verschlossen, alle anderen Tore sind teilgeöffnet. | NLWKN |

1.3 Ziel der Machbarkeitsuntersuchung und Aufgabenstellung

Zu den in Kapitel 1.2 aufgeführten wasserbaulichen Varianten zur Reduzierung des Schwebstoffgehaltes der Unterems ist jeweils eine Machbarkeitsuntersuchung anzufertigen. Ein Bezug auf einheitliche Bewertungskriterien soll die anschließende Vergleichbarkeit und die Auswahl der geeignetsten Varianten ermöglichen. Dazu gehört die Ermittlung

- (1) der technischen Machbarkeit,
- (2) der Nutzeneffekte / des Zielerreichungsgrads,
- (3) des Flächenbedarfs,
- (4) der Raumwiderstände,
- (5) der Einschätzung möglicher Umweltauswirkungen,
- (6) der wasserwirtschaftlichen Verträglichkeit,
- (7) der verkehrlichen Verträglichkeit,
- (8) der Verträglichkeit mit anderen Maßnahmen des „Masterplan Ems 2050“,
- (9) der Widerstandsfähigkeit der Maßnahme gegen Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs,
- (10) der Anpassungsfähigkeit/Nachsteuerungsmöglichkeit der Maßnahme,
- (11) des Planungs-/Genehmigungsverfahrens und –dauer und der Umsetzungsdauer,
- (12) des überschlägigen Kostenrahmens.

Die Abarbeitung der genannten Punkte findet sich in Kapitel 4.

2 Gewässerspezifische Randbedingungen

Nachfolgend werden die Charakteristiken der Tideems, der Gewässergüte und der komplexen Bewegungsvorgänge in ihrer Entwicklung bis zum heutigen Zustand geschildert. Berührt die Schilderung des Gestaltwandels alle Maßnahmen des Masterplans Ems 2050, ergibt sich aus den daraus hervorgehenden Mechanismen des ungünstigen Feststofftransports der Bedarf einer gezielten Gegenmaßnahme in Form der Tidesteuerung. Insbesondere die in Kapitel 2.7 dargestellte Veränderung der Transportvorgänge, die dazu führen, dass sich die Unterems im heutigen Zustand mit Feststoffen auflädt und damit Ursache der schlechten ökologischen Verhältnisse sind, ergeben die Randbedingungen für die geplante Tidesteuerung und stellen deren angestrebte Wirkungsweise in den Kontext der historischen Entwicklung. Bei den nachfolgenden Kapiteln 2.1 bis 2.8 handelt es sich größtenteils um einen Ausschnitt aus ENGELS (2016), in dem die Maßnahmen des Masterplan Ems 2050 zusammen mit der Entwicklung der Gewässergüte in der Ems beschrieben wird.

2.1 Gebietsbeschreibung – von der Senne bis zur Nordsee

Die Ems entspringt im Sennegebiet südlich des Teutoburger Waldes und durchfließt das Münster- und Emsland. Nach einer Lauflänge von rd. 270 km passiert die Ems das Wehr Herbrum (Baujahr 1899), ist ab dort tidebeeinflusst und wird somit ab dort als Tideems bezeichnet. Nach weiteren rd. 100 km mündet sie bei Borkum in die Nordsee. Hase und Leda sind die wichtigsten Nebenflüsse, die auf der östlichen Seite bei Meppen bzw. Leer in die Ems münden. Im untersten Abschnitt der Ems und entlang der Küste befinden sich große Wattflächen. Südlich der Stadt Emden befindet sich der Dollart, eine durch Sturmfluten entstandene Ausbuchtung mit einer heutigen Größe von rd. 100 km². Der Dollart, der im Verlauf der Tide zeitweilig zu einem großen Teil trocken fällt, ist von der schiffbaren Ems durch den Geiseleiddamm getrennt. Weist die Ems seewärts des Dollarts eine Weite von über 3000 m auf, vollzieht sich oberhalb davon eine abrupte Reduzierung der Breite auf etwa 600 m. Im weiteren Verlauf nimmt diese bis zur Stadt Leer auf etwa 200 - 300 m, bis zur Stadt Papenburg auf rd. 100 – 150 m und bis Herbrum auf unter 70 m ab.

Die Tideems wird im Allgemeinen in drei Abschnitte unterteilt. Die Strecke zwischen Herbrum und Papenburg wird der „Mittleren Ems“ zugeordnet und ist bis Papenburg gleichzeitig auch der unterste Abschnitt des Dortmund-Ems-Kanals (DEK). Trotz des Tideeinflusses gilt der Abschnitt zwischen Herbrum und Papenburg noch als Binnenschiffahrtsstraße. Unterhalb von Papenburg ist die Ems Seeschiffahrtsstraße, die bis zur Knock den Namen Unterems und von dort an bis zur Nordsee den Namen Außenems trägt. Über das Wehr in Herbrum läuft der Tideems ein Abfluss aus dem 9.231 km² großen Einzugsgebiet zu. Bei Leer, unterhalb der Einmündung der Leda, umfasst das Einzugsgebiet bereits 11.668 km², oberhalb des Dollarts 12.351 km² und bei Emden 12.546 km² (Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch 2012). Der Ems ist auf gesamter Länge ein Einzugsgebiet von 17.934 km² zuzuordnen [KREBS und WEILBEER 2008], dabei ist jedoch auch darauf hinzuweisen, dass aufgrund des weit ver-

zweitgen Übergangs in die Nordsee kein eindeutiges Ende der Flussstrecke existiert und deswegen recht unterschiedliche Flusslängen und Einzugsgebietsgrößen genannt werden.

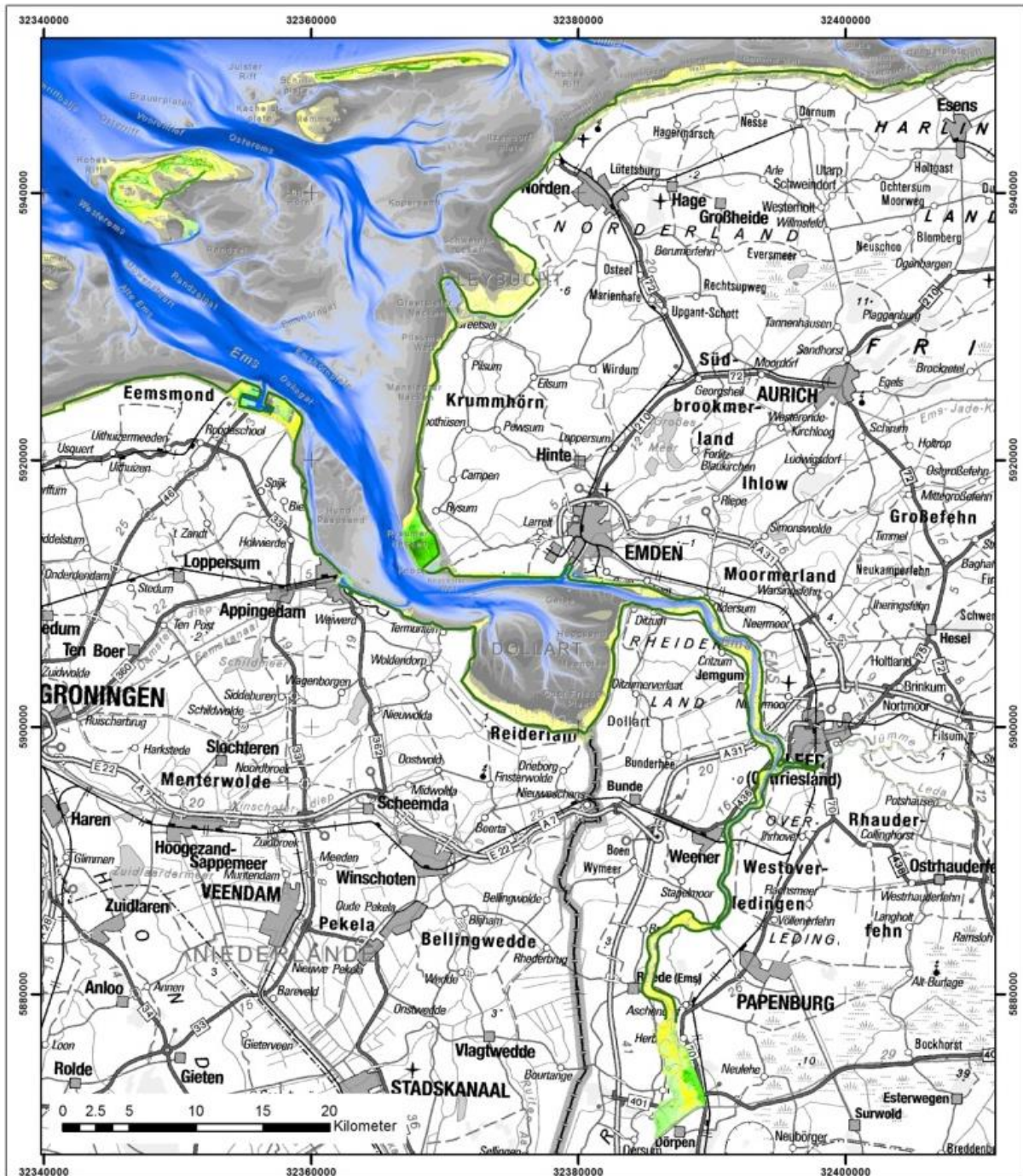


Abbildung 2 Die Ems zwischen Borkum und Herbrum [HERRLING & NIEMEYER 2008]

Zwischen dem Dollart und der Mündung in die Nordsee liegt die Ems im deutsch-niederländischen Grenzgebiet. Die Zusammenarbeit beider Staaten auf dem Gebiet des Wasserbaus ist in dem 1960 geschlossenen Ems-Dollart-Vertrag geregelt. Auf deutscher Seite liegen die Zuständigkeiten bei der Bewirtschaftung der Ems bei der Bundesrepublik Deutschland und beim Land Niedersachsen und lassen sich grob wie folgt teilen: für die Aufrechterhaltung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs auf der Bundeswasserstraße ist die Wasser- und Schiffsverwaltung des Bundes zuständig. Neben der Unterhaltung der Was-

serstraße gehört dazu auch deren Anpassung an die Erfordernisse der Schifffahrt, z.B. in Form einer Fahrwasservertiefung.

Das Land Niedersachsen übernimmt im Allgemeinen die Aufgabe des Hochwasser- bzw. des Sturmflutschutzes und in diesem Zusammenhang auch den Betrieb des Emssperrwerks bei Gandersum. Historisch bedingt fällt die Steuerung des Ledasperrwerks bei Leer jedoch nicht in die Zuständigkeit des Landes, sondern wird vom Bund wahrgenommen. Zwischen Emden und Borkum befinden sich die Klappstellen, auf denen das Baggergut aus der deutschen und niederländischen Unterhaltung des Fahrwassers und der Häfen verklappt wird. Das oberhalb von Emden anfallende Baggermaterial wird zumeist auf dafür bestimmte Spülfächen an Land verbracht. Die Häfen entlang der Ems spielen eine bedeutende wirtschaftliche Rolle. Hier sind auf niederländischer Seite die Häfen Eemshaven und Delfzijl, sowie auf deutscher Seite Emden, Leer und Papenburg zu nennen. Insbesondere ist auf die wirtschaftliche Bedeutung des Kraftfahrzeugumschlags im Emdener Hafen (VW-Werk) und der Papenburger Meyer Werft hinzuweisen.

2.2 Ausschnitt aus der historischen Entwicklung der Außenems – Landgewinn und Gerinnegestalt

Der im 14. Jhd. durch eine Sturmflut entstandene Dollart wurde durch darauf folgende Fluten vergrößert und hatte zu Beginn des 16. Jhds. seine größte Ausdehnung. Ebenfalls entstand die Leybucht im 14. Jhd. und stellte seitdem somit eine weitere große Meeresbucht in der Emsmündung dar. In den nachfolgenden Jahrhunderten wurden im Bereich des Dollarts und der Außenems weite Flächen in Form von Poldern zurückgewonnen. Am Dollart wurde 1877 der letzte Polder geschlossen. Im Verhältnis zu seiner größten Ausdehnung ist heute nur noch etwa ein Drittel seiner ursprünglichen Ausdehnung vorhanden. Nördlich des Dollarts, also auf der Emdener Seite der Ems, erfolgte die letzte Einpolderung 1923. Unweit von Emden erfolgte in den 1930er Jahren eine Verlagerung des Hauptfahrwassers, für die ein Steindamm errichtet wurde, hinter dem sich große Mengen Sand ablagerten, die seitdem den sogenannten Rysumer Nacken bilden. Weiterhin sind die Landrückgewinnungen in der Emsmündung zu nennen, wie die im Bereich des heutigen Eemshaven, die 1973 mit der Fertigstellung der dortigen Hafenanlagen endeten. Auf der gegenüberliegenden Seite wurde in der Leybucht 1950 der letzte Polder geschlossen. Aus Gründen des Küstenschutzes erfolgte hier anschließend jedoch nochmals ein Deichprojekt mit dem im Jahre 1991 die Halbinsel Leyhörn geschaffen wurde [PETERS 2014]. Neben den vorgenannten Eindeichungen gab es auch Ausdeichungen, durch die nicht vor Sturmflut zu schützende Flächen dem Meer bzw. dem Fluss preisgegeben wurden. Jedoch ist die Bilanz zwischen Landverlusten und Landgewinnen bis zur Gegenwart positiv [SCHWARZ 1996]. Von der Ems wurden im Bereich des Dollarts und der Außenems Flächen mit einer Gesamtgröße von etwa 300 km² zurückgewonnen [VROOM et al. 2012, HERRLING & NIEMEYER 2008].

Zu den vorgenannten Maßnahmen sind weitere große Einpolderungen entlang der Küste zu nennen, wie die an der Harlebucht, die in den 1950er Jahren abgeschlossen wurden, sowie die außergewöhnlich große Eindeichung der Zuiderzee (1932, das heutige IJsselmeer). Wei-

terhin ist der Abschluss des Lauwersmeers im Jahre 1969 zu nennen. Durch die Einwirkung von Sturmfluten wandelte sich das verzweigte Rinnensystem der Ems, besonders des untersten Abschnittes, unterhalb von Emden. In gegenseitiger Wechselwirkung änderten sich fortwährend die Lage der Platen und Tiefen der Gerinne. Innerhalb des letzten Jahrhunderts vollzog sich in der Emsmündung eine großräumige Verlagerung der Hauptströmung, bei der sich die zuvor auf Oster- und Westerems verteilte Strömung zunehmend auf die Westerems konzentrierte. Als Folge dessen wurde das Ostfriesische Gatje als Gerinne gestärkt, wodurch sich die Plate Paapsand-Hund nach Westen verlagerte und dadurch wiederum das Gerinne der Bucht von Watum schwächte.

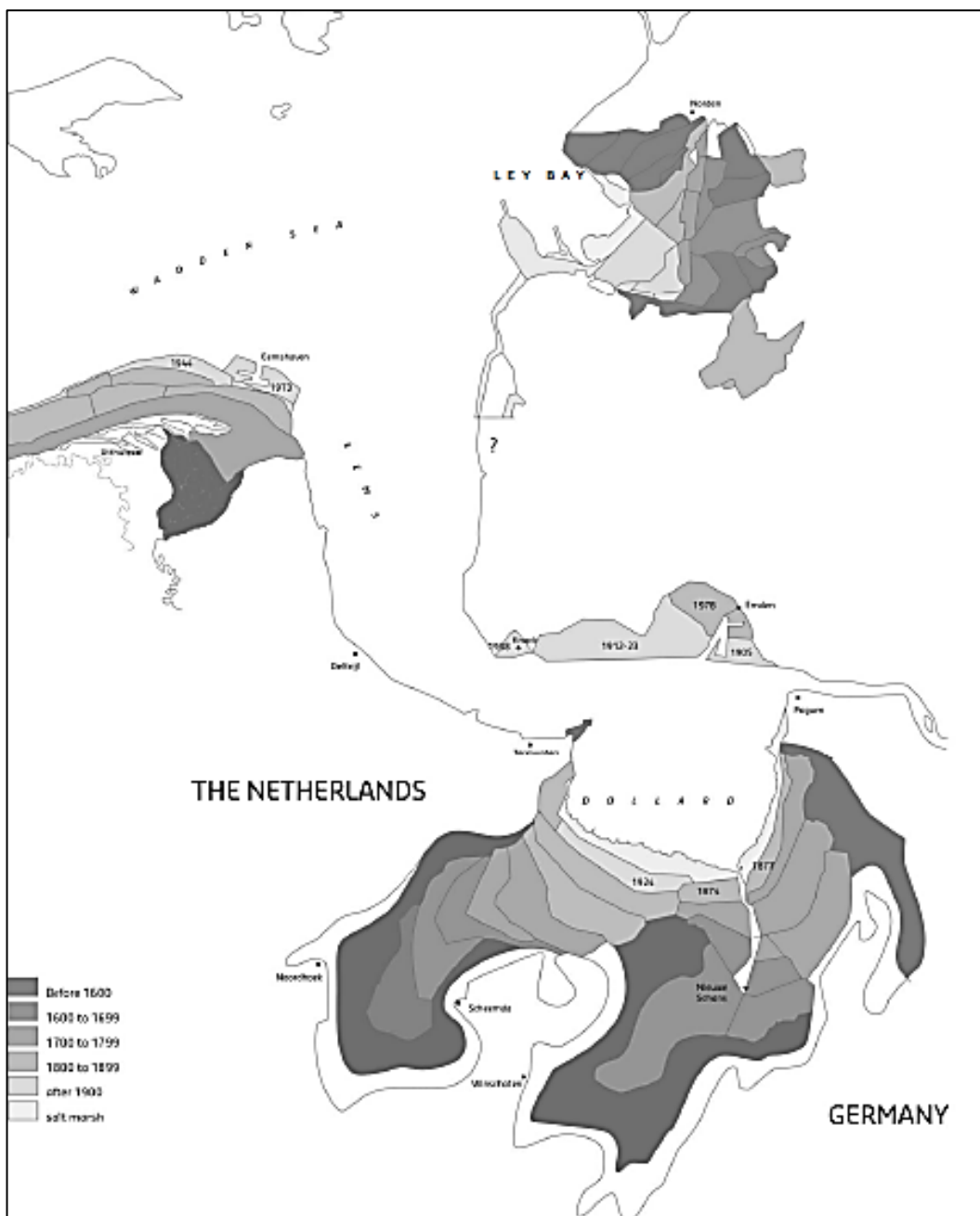


Abbildung 3 Landgewinnung in Form von Einpolderungen im Bereich des Dollarts und der Emsmündung [VROOM et al. 2012]

Die Vielfalt der Stromteilungen in der Außenems nahm im Laufe dieser Entwicklung ab. Damit gingen die Vertiefung der verbleibenden Gerinne, verbunden mit der Zunahme der hydraulischen Leistungsfähigkeit und der Verstärkung der Tidedynamik, einher.

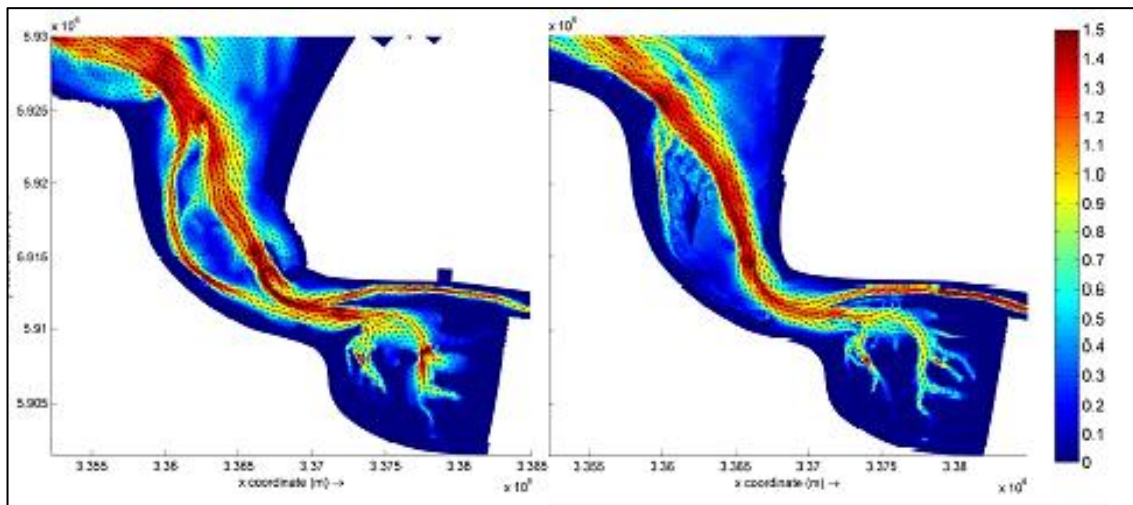


Abbildung 4 Strömung im Bereich der Außenems und des Dollarts (hier: maximale Geschwindigkeit bei Flut); Gegenüberstellung der Zustände von 1937 (links) und 2005 (rechts); der Vergleich verdeutlicht die Verlagerung der Plate Paapsand-Hund und die Abnahme der Strömung durch die Bucht von Watum bzw. die Stärkung des Ostfriesischen Gatjes [HERRLING & NIEMEYER 2008]

Die durch Landgewinnungen künstlich veränderte Küstenlinie übte einen Einfluss auf diese Vorgänge aus, sowohl durch ihre Gestalt als auch durch die Verminderung des Raumes, in dem sich der Wasserkörper zu bewegen hatte. Hierbei wird auch ein Zusammenhang zwischen der vorgenannten großräumigen Strömungsverlagerung und den Landrückgewinnungen diskutiert [VROOM et al. 2012]. Seit Ende des 19. Jhds. erfolgten zunehmend Strombaumaßnahmen in den verschiedenen Abschnitten der Ems, zur Schaffung schiffbarer Gerinne und zur Stabilisierung ihrer Lage. Zu diesen Maßnahmen gehörten sowohl das Ausbaggern des Fahrwassers, als auch der Einbau von Leitdämmen und Buhnen.

2.3 Ausschnitt aus der historischen Entwicklung der Unterems – Ausbau und Unterhaltung

Im Jahre 1899 wurde der Dortmund-Ems-Kanal fertiggestellt. Diese Hauptverkehrsader zwischen dem Ruhrgebiet und der Nordsee ermöglichte zum einen die Versorgung der Industrie mit Rohstoffen und zum anderen den Transport der Industrieprodukte. Dabei erhielt die Seehafenstadt Emden eine wesentliche Rolle als Umschlagsplatz. Darüber hinaus wurde den Anliegern ein Anschluss an ein überregionales Netz von Schifffahrtsstraßen ermöglicht, wodurch sich neben der Stärkung des Hafens Emden auch ein Vorteil für die Häfen Leer und Papenburg ergab. Zur Überbrückung des Höhenunterschieds von rd. 70 m zwischen Dortmund und der Tideems wurde der Kanal in zahlreiche Staustufen eingeteilt. Die unterste Stauhaltung endet in Herbrum, wo 1899 das Tidewehr in Betrieb genommen wurde.

Zur Herstellung einer durchgehenden Schiffbarkeit waren auch in der Tideems zwischen Herbrum und Emden zahlreiche Strombaumaßnahmen erforderlich. Der Schiffsverkehr stieg mit der Fertigstellung dieser Arbeiten in der ersten Dekade des 20. Jahrhunderts sprunghaft an.

Zur Optimierung der Schiffbarkeit folgten mehrere Durchstiche, wodurch sich die Lauflänge der Unterems erheblich, und zwar um schätzungsweise 15% verkürzte, sowie eine Fläche von etwa 4 km² abgerungen wurde [ARENS 1952, HERRLING & NIEMEYER 2008]. Damit gingen diesem Flussabschnitt einerseits charakteristische Lebensräume, wie z.B. Auewälder, verloren und andererseits führte die Veränderung der Geometrie zur Intensivierung der Tidebewegung.

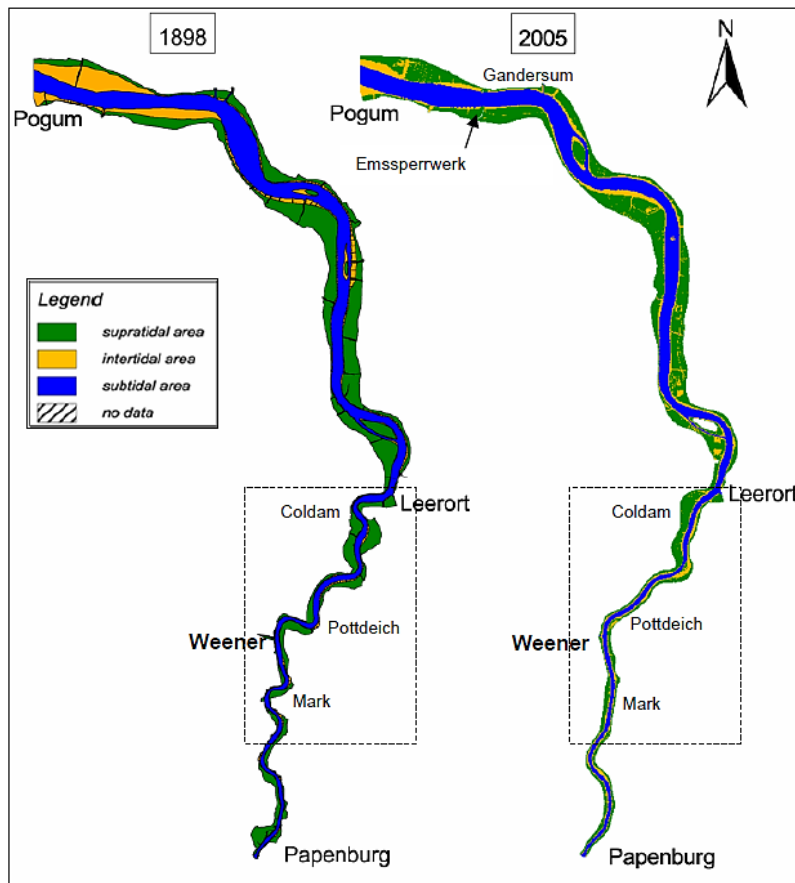


Abbildung 5 Begradigungen der Unterems zwischen Pogum und Papenburg; Gegenüberstellung der Verhältnisse von 1898 (links) und 2005 (rechts) [HERRLING & NIEMEYER 2008]

Ab den 1950er Jahren erfolgten verstärkt Ausbaumaßnahmen des Fahrwassers unterhalb von Emden, womit der Zunahme der Schiffsgrößen Rechnung getragen wurde. Ab Ende der 1950er Jahre wurde die Anpassung oberhalb von Emden forciert, beginnend mit dem Ausbau der Strecke zwischen Herbrum und Papenburg für ein 1000 t-Schiff. Bis Anfang/Mitte der 1960er Jahre folgten weitere Fahrwasservertiefungen, und zwar bis Emden auf 8,5 m, bis Leerort auf 5,5 m und bis Papenburg auf 4,5 m (Wassertiefe bei mittlerem Tidehochwasser). Nach einer weiteren Vertiefung des Seewegs bis Emden Anfang der 1970er Jahre erfolgten ab Mitte der 1980er Jahre die stufenweisen Fahrwasservertiefungen in der Unterems, die die Überführung der außergewöhnlich tiefgehenden Werftschiffe von Papenburg in Richtung See ermöglichten. Dabei orientierte sich das jeweilige Ausbauziel an den Abmessungen der größten auf der Meyer Werft hergestellten Schiffe: 1983/84 (5,7 m Tiefgang), 1991 (6,3 m Tiefgang) und 1993 (6,8 m Tiefgang). Zwischen 1984 und 1990 wurden die Flusskrümmungen Weekeborg und Stapelmoor reduziert. Im Jahre 1994 erfolgte ausgehend von einer Basistiefe,

die die tideabhängige Fahrt 6,8 m tiefgehender Schiffe gewährleisten sollte, eine bedarfsweise Vertiefung für ein 7,3 m tiefgehendes Schiff.

Nach jeder Ausbaustufe waren die Unterhaltungsarbeiten zur Aufrechterhaltung der Fahrwassertiefen anzupassen. In der Unterems waren diese Unterhaltungsbaggerungen ab Mitte der 1980er Jahre verstärkt auszuführen und machten eine Optimierung der Baggergutunterbringung nötig. Heute wird ein Teil des Baggermaterials an ausgewiesenen Positionen zwischen dem Dollart und der Nordsee verklappt und ein anderer Teil über Spüleleitungen auf dafür bestimmte Flächen an Land untergebracht. Die Effizienz der Unterhaltungsbaggerungen wurde im Laufe der Zeit gesteigert und ihre Ausführung dem zunehmenden Aufwand angepasst. In diesem Zusammenhang wurden Begriffe wie Baggergutmanagement, Sedimentmanagement und Baggerstrategie geschaffen. Die hohen Kosten der Nassbaggerei und der landseitigen Unterbringung des Baggerguts veranlassten 1995 die Emdener Hafenverwaltung zur Optimierung der Unterhaltungsmaßnahmen. Seitdem verbleibt der Schlick im Emdener Außenhafen und wird zur Aufrechterhaltung der Schifffahrtstiefe lediglich flüssig gehalten.

Im Jahre 2002 erfolgte die Fertigstellung des Emssperrwerks bei Gandersum, rd. 45 Kilometer unterhalb des Tidewehres Herbrum und rd. 3 Kilometer oberhalb des Dollarts. Mithilfe dieses Mehrzweck-Wasserbauwerks ist seitdem ein besserer Sturmflutschutz bis in die Stauhaltung oberhalb des Wehres Herbrum gewährleistet. Außerdem ergibt sich auch ein zusätzlicher Schutz des Leda-Jümme-Gebietes, das seit 1954 zwar durch das Ledasperrwerk geschützt ist, dessen Konstruktion und Abmessungen allerdings nicht mehr den heutigen Sicherheitsanforderungen entsprechen. Bis 2016 wurde das Emssperrwerk 10 Mal aus Küstenschutzgründen geschlossen und ermöglichte die Überführung von 33 Werftschiffen, denn neben der vorgenannten Schutzfunktion dient das Emssperrwerk auch dem zeitlich begrenzten Aufstau der Ems zur Überführung tiefgehender Schiffe von Papenburg in Richtung See. Dabei sind Überführungsfahrten mit einem Tiefgang von max. 8,5 m möglich.

2.4 Entwicklung der Gewässerbenutzung – Abwasser und Sole

Neben der Bewirtschaftung der Ems als Schifffahrtsstraße erfolgt seit je her auch die Benutzung durch Einleiten von Abwässern. Das Größerwerden der Ortschaften und Städte erforderte das Fassen und Reinigen der Siedlungsabwässer, sowie im Anschluss daran die Steigerung der Reinigungsleistung der Kläranlagen. Zudem gelangen nach wie vor ungenutzte Abwässer in die Ems, z.B. als sogenannte diffuse Quellen aus der Landwirtschaft. Die derzeitige Gewässergütesituation der Ems geht im Wesentlichen auf die bisherigen Fahrwasseranpassungen zurück. Die Einleitung von Abwässern spielt in Relation dazu eine untergeordnete Rolle. Anders ist dieses jedoch bei der Einleitung von Sole, deren Auswirkung auf die Gewässergüte im Zusammenhang mit dem Ausbau der Ems zunahm. Seit 1976 werden durch ein Energieversorgungsunternehmen zwischen Emden und Leer (Nüttermoor) durch Aussolung Kavernen zur Erdgasspeicherung erstellt. Bis 2010 erfolgte die Einleitung der dabei anfallenden gesättigten Sole nahe der Ortschaft Ditzum und wurde danach in den Bereich der Außenems nach Rysum verlegt, um einen signifikanten Einfluss auf die Brackwasserzone der

Unterems zu vermeiden. Gleichzeitig erfolgte eine Steigerung der Solrate. Das Kavernenfeld wird beiderseits der Ems noch über mehrere Jahre erweitert.

2.5 Fazit der historischen Entwicklung in Außen- und Unterems – hohe Kosten und schlechte Gewässergüte

Die über einen längeren Zeitraum in Form von Einpolderungen stattgefundene Landrückgewinnung führte zur Abnahme von charakteristischen Lebensräumen im Vorland und Watt und darüber hinaus zur Verstärkung der Bewegungsvorgänge des Wassers, dessen Transportvermögen und der Sedimentationscharakteristik. Diese Vorgänge ereigneten sich schwerpunktmäßig in der Außenems und änderten somit auch die hydro-morphologischen Randbedingungen der Unterems. Der Fahrwasserausbau der Außen- und der Unterems bewirkte nochmals eine Verstärkung der Strömungs- und Sedimentdynamik. Im Verhältnis zu den vorgenannten Maßnahmen wirkte sich allerdings der während der letzten rd. 30 Jahre ausgeführte Ausbau der Unterems sehr stark aus, in Folge dessen dort ein gravierender Wandel der ökonomischen und ökologischen Bedingungen einsetzte. Dieses geschah hauptsächlich in Form einer zunehmenden Sedimentation und einem daraus resultierenden hohen Unterhaltungsaufwand, und führte zu einer starken Veränderung der Brackwasserzone und der dortigen Verschlechterung der Gewässergüte. Der Internationale Bewirtschaftungsplan der Flussgebietsgemeinschaft Ems (FGG Ems) fasst zusammen: *„Derzeit stellt sich die Situation an der Tideems vor allem in den Sommermonaten mit extrem hohen Schwebstoffkonzentrationen und damit verbunden massiven Sauerstoffdefiziten dar. Die Sohle und die Uferbereiche sind über weite Strecken stark verschlickt und sind von Flora und Fauna kaum besiedelbar. Die freie Binnenentwässerung wird durch das Zusetzen der Außenmuhden/Außentiefs behindert, Hafeneinfahrten und Häfen verschlickten, die Aufwendungen für die Unterhaltung der Bundeswasserstraße Ems sind immens gestiegen.(...) Die Folgen der Trübungsproblematik, z. B. die zunehmende auftretende Verschlickung der Sohl- und Uferbereich, der Lichtmangel und die Sauerstoffdefizite, wirken sich auf alle biologischen Qualitätskomponenten negativ aus, was insgesamt zur Verfehlung des guten ökologischen Potenzials in den Übergangsgewässern der Ems führt. Ebenfalls haben die sehr hohen Schwebstoffgehalte in der Tideems einen sehr deutlichen Einfluss auf die gemessenen Schad- und Nährstoffe. Mit zunehmendem Schwebstoffgehalt in der Wasserprobe steigen auch die Gehalte bestimmter Schad- (z. B. PAK) und Nährstoffe in der Gesamtwasserprobe, was letztendlich zu einem „nicht guten“ chemischen Zustand führt“* [FGG Ems 2015].

2.6 Die Brackwasserzone - hohe Trübung und starker Wandel

Im Unterlauf eines Flusses, der sowohl dem Einfluss der Tide als auch des Frischwasserzuflusses aus dem Einzugsgebiet unterliegt, befindet sich ein Übergangsbereich zwischen Meer- und Süßwasser. Diese sogenannte Brackwasserzone unterscheidet sich naturgemäß von den ober- und unterhalb davon befindlichen Flussabschnitten durch eine erhöhte Schwebstoffkonzentration im Wasser, sowie einen erhöhten Schlickanfall an der Gewässersohle [SPINGAT 1997]. Das am oberen Rand des betrachteten Abschnittes zufließende Wasser ist im Verhältnis zu dem der Tideems sauerstoffreich und schwebstoffarm. Die Menge des Oberwassers

unterliegt einer ausgeprägten saisonalen Schwankung und wetterabhängigen Variabilität und prägt zusammen mit der am unteren Rand des betrachteten Abschnittes eintretenden Tidedynamik die Gewässergüte. Die Intensität der Tide unterliegt neben der astronomischen auch einer saisonalen und wetterabhängigen (z.B. Sturmfluten) Variation, die sich in einer entsprechenden Schwankung der Wasserstände und der Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen äußert. Die Brackwasserzone, wird je nach Frischwasserzufluss und Tidedynamik hin- und her geschoben. Bei hohem Zufluss ergibt sich gewissermaßen ein Spülstrom in Richtung Mündung, während bei starker Tide der marine Einfluss zunimmt. Neben der tidebedingten Bewegung kommt es aufgrund der starken Salzgehaltsunterschiede zu einer dichteinduzierten Strömung. Als Resultat der Bewegungsvorgänge bildet sich am oberen Rand der Brackwasserzone natürlicherweise die sogenannte Trübungszone aus, in der die Schwebstoffkonzentration im Wasser, sowie der Schlickanfall an der Gewässersohle naturgemäß besonders ausgeprägt sind.

Je nach Randbedingungen können die Konzentrationen von Schwebstoff, Sauerstoff und Salz verhältnismäßig stark schwanken. Die Kapitel 2.5 geschilderten Eingriffe führten einerseits zur landeinwärts gerichteten Verschiebung der Brackwasserzone und andererseits zu massiven Änderungen des Sedimenthaushaltes mit einer Ausweitung der Trübungszone über die eigentliche Brackwasserzone hinaus, sowie gleichzeitig zum Anstieg des Trübungsmaximums. Im ursprünglichen Zustand der Ems lag das Trübungsmaximum zwischen Gandersum und Leerort. Die bis in die 1980er Jahre ausgeführten Ausbaumaßnahmen verlagerten das Trübungsmaximum in den Abschnitt zwischen Terborg und Leerort. Nach den Vertiefungen Anfang der 1990er Jahre veränderte sich dann die Gestalt der Trübungszone, so dass zwischen Gandersum und Herbrum insgesamt höhere Trübungen festzustellen waren. Damit war die Trübungszone bis weit in den Süßwasserbereich, in diesem Fall bis zum Tidewehr Herbrum, eingedrungen. Die nachfolgenden Ausbauten veranlassten eine weitere Zunahme der Trübungswerte [DE JONGE et al. 2014].

Bos et al. (2012) beschreiben die Veränderung der Trübung und die damit verbundenen ökologischen Folgen: *„Die Zunahme der Schwebstoffe im Flussästuar hat dramatisch die Lichtdurchflutung verändert, speziell im Süßwasserbereich (...) Jedenfalls müssen die veränderten Schwebstoffbedingungen weiter flussabwärts im äußeren Ästuarbereich auch das Nahrungsangebot im gesamten Ökosystem signifikant verringert haben. Neben der Beeinflussung der Primärproduktion betrifft die Zunahme der Schwebstoffe möglicherweise Organismen die in der Nahrungskette auf höherer Stufe stehen direkt, z.B. durch Verstopfung der Filterapparate von Mollusken oder der Kiemen von Fischen oder durch Verminderung der Sicht. (...) Im Flussästuar erfolgte ein steiler Rückgang von Diversität, Dichte und Biomasse der Benthosorganismen innerhalb der letzten 20 Jahre, hauptsächlich durch Sauerstoffmangel, hohe Schwebstoffkonzentrationen und flüssigem Schlamm bedingt. (...) Im Flussästuar unterliegen alle Arten ungünstigen Bedingungen während des Sommers. Typische Ästuararten wie Stint und Finte können sich nicht erfolgreich vermehren, wie durch eine Pilotstudie an Stinten herausgefunden wurde. Es fehlen geeignete Laichhabitats und die Bedingungen für das Überleben der Larven sind ungünstig. Die schlechte Wasserqualität ist das Hauptproblem (Zeiträume mit anaeroben Bedingungen, extrem hohe Konzentrationen von Schwebstoffen, Flüssig-*

Schlick). (...)Hauptprobleme in dem Sauerstoffmangel (Flussästuar) und der verstärkten Wassertrübung (gesamtes Ästuar) liegen. Verursacht werden diese durch die stark künstliche Morphologie des Ästuars und dem damit verbundenen Phänomen des „tidal pumping“. (...) In einer natürlichen Referenzsituation ist der Bereich der höchsten Wassertrübung wesentlich geringer und liegt näher an der Flussmündung, d.h. bei Emden. Im Referenzzustand gibt es keinen Sauerstoffmangel und Fische können sich ungehindert reproduzieren und wandern.“

2.7 Veränderung des Sedimenttransports in die Unterems – Sedimentangebot, Tidepumpe und Sedimentfalle

Die durch den Prozess der Landgewinnung eingedeichten Flächen stellten vorher Areale mit geringer Bewegungsenergie dar. Durch das Wegfallen dieser Bereiche und einer dort entsprechend geringeren Sedimentation, wird mehr Sediment in Bewegung gehalten, womit auch mehr Material in Richtung Ems bewegt wird. Hier ist auch auf die Eindeichung der großen Zuiderzee (Ijsselmeer) hinzuweisen. Aufgrund der von West nach Ost gerichteten Tidebewegung entlang der südlichen Nordseeküste, führt das Fehlen u.a. dieses großen Absatzbereichs zur Zunahme der Schwebstoffkonzentration in der Außenems. Der hohe Nährstoffeintrag in die Nordsee und die damit verbundene Bildung von Schweb- und Sinkstoffen wirkt sich darüber hinaus auf die Wechselwirkung zwischen Nordsee und Watt aus [VAN BEUSEKOM 2014]. Dabei wird über die ästuarine Zirkulation eine größere Menge von Feststoffen mit hohem organischen Anteil von der Nordsee in die Watten gedrückt und kann sich von dort auch in Richtung Außenems weiterbewegen. Die signifikante Zunahme in der Außenems gemessener Schwebstoffkonzentrationen verdeutlicht die o.g. Transportvorgänge [DE JONGE et al. 2014]. Über die höhere Konzentration in der Außenems kann nun wiederum eine entsprechend höhere Sedimentmenge weiter in die Ems vordringen. Die Zusammenfassung der Strömung auf ein Hauptgerinne, statt einer Aufteilung auf ein Flechtwerk kleinerer Ströme, wirkt sich dabei günstig auf den Weitertransport der Feststoffe in Richtung Unterems aus. Dieser weitere Transport wurde stark durch den Ausbau der Unterems geprägt und setzt sich im heutigen Zustand durch mehrere zusammenwirkende Mechanismen zusammen, die unter dem Begriff Tidepumpe zusammengefasst werden und dazu führen, dass die Ems mehr Sediment importiert als exportiert und sich somit mit Sediment auflädt. Dieser Zustand wird auch als Sedimentfalle bezeichnet. Im ursprünglichen Zustand der Ems fanden die Transportvorgänge in einem gewissen Gleichgewicht statt. Dagegen stellte sich nach dem Ausbau ein Ungleichgewicht ein, das auch als Asymmetrie bezeichnet wird. Nachfolgend soll die Funktionsweise und die Entstehung dieses Vorgangs erläutert werden.

Die Begradigung und Vertiefung eines Flusses führt generell zu einer geringeren Dämpfung der von See einschwingenden Tidewelle, so dass mehr Tideenergie in das Ästuar stromaufwärts gelangt. Daraus rührt eine Zunahme des Tidehubs, wobei die Absenkung des Tideniedrigwassers weitaus größer ist als die Erhöhung des Tidehochwassers [MALCHEREK 2010]. Darüber hinaus führen diese Eingriffe zur Abnahme der Reibung und so zur Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit. Naturgemäß sind die Geschwindigkeiten während der Tide nicht konstant, sondern ändern sich in einem charakteristischen Zeitverlauf. Bedingt durch die Ab-

nahme der Reibung nimmt besonders die Geschwindigkeit bei Flut zu, und zwar sowohl der Mittelwert über die Flutphase, als auch der Maximalwert. Die Verkürzung der Flutdauer führt bei gleichbleibender Dauer der gesamten Tide (im Mittel 12 Stunden und 25 Minuten) zu einer Verlängerung der Ebbephase. Daraus gehen höhere Strömungsgeschwindigkeiten bei Flut als bei Ebbe hervor, was als wesentliches Kennzeichen der Flutstromdominanz bezeichnet wird. Gleichzeitig ändert sich auch der zeitliche Verlauf der Strömungsgeschwindigkeiten und der daraus resultierenden Transporteigenschaften: zu Beginn der Flut herrschen zunächst hohe Strömungsgeschwindigkeiten wodurch Sediment entsprechend intensiv aufgenommen und transportiert wird. Eine Ruhephase um Tidehochwasser führt zum Absetzen des suspendierten Materials. Die nach dieser Ruhephase einsetzende Strömungsgeschwindigkeit der Ebbe nimmt lediglich langsam zu und erreicht erst im späteren Verlauf eine ausreichende Kraft, das Sediment in die entgegengesetzte Richtung in Bewegung zu setzen. Der Wechsel von Ebbe zur darauf folgenden Flutphase erfolgt dabei fast ohne Ruhe, so dass das noch in Suspension befindliche Sediment sofort wieder Fluss einwärts befördert wird.

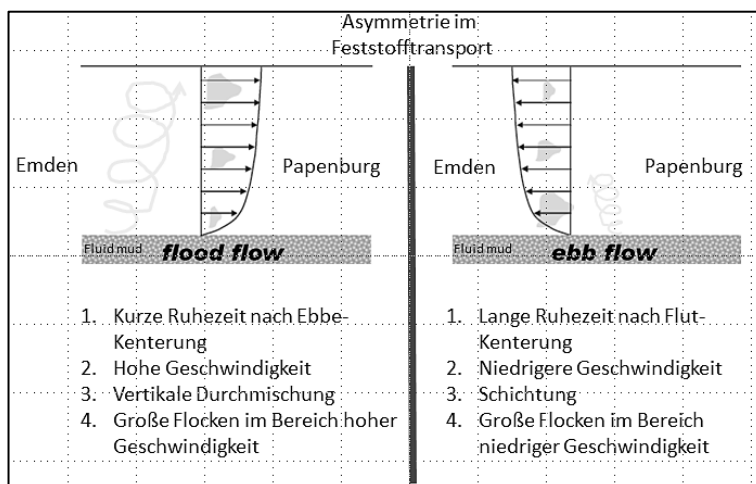


Abbildung 6 Asymmetrie im Feststofftransport (Verändert nach: DE VRIEND 2010)

Zusätzlich zu den o.g. Eigenschaften der Flutstromdominanz führen somit auch die Vorgänge der Sedimentation und Resuspension dazu, dass der Import effizienter abläuft als der Export. Im Weiteren führt der Anstieg der Strömungsgeschwindigkeit zur stärkeren Ausbildung der Turbulenz und somit zur vertikalen Durchmischung des Wasserkörpers. Somit erfolgt eine intensivere Durchmischung bei Flut als bei Ebbe. Besonders während der Flutphase werden Feststoffe von der Sohle aufgenommen und weit in den oberen Bereich der Wassersäule gehoben. Da mit zunehmendem Abstand zur Gewässersohle auch die Strömungsgeschwindigkeit steigt, nimmt auch entsprechend die Effizienz des Fluttransports zu. Hingegen sind die Geschwindigkeiten der Ebbe niedriger, was zu einer weitaus geringeren Durchmischung führt [DE VRIEND 2010]. – Während der Ebbe befindet sich das Sediment hauptsächlich im unteren Bereich der Wassersäule, über lange Zeit sogar in geschichteter Form. Diese Flüssigschlickschicht an der Gewässersohle, deren Mächtigkeit in der Unterems heute mehrere Meter betragen kann, hat ein stark von Wasser abweichendes Fließverhalten. Dabei ist die Viskosität (ein Maß für die Zähflüssigkeit) dieser Masse stark von der Bewegung abhängig (Thixotropie). Im Gegensatz zur Flut geht aus der niedrigeren Strömungsgeschwindigkeit der

Ebbe nicht nur eine entsprechend geringere Schleppkraft hervor, darüber hinaus verfügt das Sediment als Schicht auch noch über eine höhere Lagestabilität als im suspendierten Zustand.

Die beschriebenen Transportvorgänge werden stets durch die Variation der Tide und dem Frischwasserzufluss (Oberwasserzufluss) überlagert. Der Fluss einwärts gerichtete Transport nimmt mit zunehmender Tideintensität (z.B. Springtide) zu. Der Anstieg des Oberwasserzuflusses wirkt sich dagegen reduzierend auf den in die Ems hineinführenden Transport aus und kann diesen sogar umkehren. Dieses geschieht allerdings nur, wenn der Oberwasserzufluss eine kritische Marke überschreitet, die in etwa in Höhe des Jahresmittelwertes liegt. In den Monaten April bis November liegt der Zufluss größtenteils unterhalb des Jahresmittelwertes, so dass es während dieser Zeit zur Akkumulation von Sediment in der Unterems bis nach Herbrum kommt [ENGELS 2009]. In der übrigen Zeit, bei zumeist höherem Zufluss, erfolgt ein Ems abwärts gerichteter Transport. Dabei wird das Sediment allerdings nicht weit über Emden hinaus bewegt [DE JONGE et al. 2014] und somit bei Abnahme des Oberwassers unmittelbar wieder in die Ems hineintransportiert. Die Unterems lädt sich darüber stetig mit Sediment auf. Von einem abschnittsweise sandigen Tidefluss ist ein durchweg schlickiger Fluss geworden, was die nachfolgenden Zahlen verdeutlichen: bis Ende der 1980er bestand das Baggermaterial der Unterems zu 80% aus Sand und zu 20% aus Schlick. Ab Anfang der 1990er Jahre waren 60% Sand und 40% Schlick festzustellen. Im heutigen Zustand sind 20% Sand und 80% Schlick anzutreffen [MEYER 2004 und KREBS u. WEILBEER 2008].

Neben den vorgenannten Mechanismen ist die Sedimenteigenschaft an sich ein bedeutender Faktor des Transports. Durch den Ausbau der Unterems wurde das Sediment einerseits zunehmend feiner und ist damit auch leichter durch die Tide zu bewegen, andererseits fördert eine relativ hohe Sinkgeschwindigkeit der Partikel die Bildung der Flüssigschlickschicht an der Sohle, wodurch der Sedimentexport erschwert wird. Nur so ist das heutige Ausmaß der Trübungszone, bis in den Süßwasserbereich hinein, zu erklären [DE JONGE et al. 2014]. Darüber hinaus führt das Feinsediment zur Abnahme der Gerinnereibung, wodurch sich wiederum die Zunahme der Tidedynamik und die erneute Stärkung der Tidepumpe ergeben! - Somit stellt sich die Frage, ob es sich hierbei um einen sich selbst erhaltenden oder sogar verstärkenden Mechanismus handelt [WINTERWERP 2013] und was geschehen würde, wenn Unterhaltungsbaggerungen unterblieben?

Bereits die zwischen den 1950er und 1970er Jahren durchgeführten Ausbaumaßnahmen führten zu einer signifikanten Zunahme der Schwebstoffkonzentrationen zwischen Leer und Emden. In den 1950er Jahren lag das Schwebstoffmaximum etwa bei Gandersum. Oberhalb von Gandersum waren weitaus niedrigere Werte vorhanden. Bis zur Mitte der 1970er Jahre war das Maximum angestiegen [DE JONGE et al. 2014]. Im Vergleich zu den Schwebstoffgehalten, die aus nachfolgenden Ausbaumaßnahmen resultierten, waren die Werte bis in die 1970er Jahre allerdings noch relativ niedrig. Die bis Ende 1980er Jahre durchgeführten Ausbauten der Unterems (bis 5,7m Tiefgang, Begradigungen Weekeborg und Stapelmoor) führten zur Zunahme der Tidedynamik, zum Anstieg der Schwebstoffkonzentration und zur Veränderung der Gestalt der Trübungszone. Ein Schwerpunkt der Unterhaltungsbaggerung lag

bis zu dieser Zeit im Emdener Fahrwasser und wurde aufgrund des erforderlichen Baggervolumens und der dabei entstandenen Kosten zum Problem. Bei Zunahme des Oberwasserzuflusses nach Trockenwetterphasen führte das Eintreiben von Feinsediment in das Emdener Fahrwasser zur Bildung einer zwei bis drei Meter dicken und hochkonzentrierten Schlamm- schicht [FRANZIUS 1986]. Die Konsolidierung des Schlicks führte zur Entstehung von Minder- tiefen, die durch die Nassbaggerei beseitigt werden mussten.

Eine deutliche Änderung veranlasste jedoch der Ausbau von 1991 (für ein 6,3m tiefgehendes Schiff), nach dem sich ein eindeutigeres Ungleichgewicht im Sedimenttransport abzeichnete. Modelluntersuchungen lassen eine Ausweitung der Trübungszone mit signifikanter Zunahme der Trübungswerte und das verstärkte Auftreten einer Flüssigschlickschicht an der Sohle der Unterems annehmen [DE JONGE et al. 2014]. Dieses wird durch Daten turnusmäßiger Schöpfproben entlang der Ems (Wasserwirtschaftsverwaltung), sowie auch der erstmaligen Beobachtung einer Sauerstoffmangelsituation im Sommer 1991 bestätigt [WaWi 1991]. Modelltechnische Untersuchungen geben auch einen Hinweis auf die weitere Steigerung der Asymmetrie, die nach den Ausbauten von 1993 und 1994 (für 6,8m und 7,3m tiefgehende Schiffe) einsetzte. Ein ungünstiger Einfluss auf den Sedimenthaushalt der Unterems wird auch im Zusammenhang mit der Änderung der Unterhaltungsbaggerung im Emdener Außenhafen diskutiert [DE JONGE et al. 2014]. Denn bis 1994 wurden dort jährlich etwa 3 Mio. m³ Schlick gebaggert und an Land verbracht [HEINZELMANN und HEYER 2006]. Seit 1995 wird dort kein Sediment mehr entnommen, so dass mehr Material im Gesamtsystem verbleibt und somit von dort aus auch weiter in die Unterems transportiert werden kann. Zwischen Emden und Borkum werden jährlich 6 bis 8 Mio. m³ zur Unterhaltung des Schifffahrtsweges (50% davon erfolgen direkt im Emdener Fahrwasser) und rd. 2 Mio. m³ aus den niederländischen Häfen Eemshaven und Delfzijl gebaggert und auf Klappstellen gebracht [VROOM et al 2012]. Diese Praxis stellte zwar bislang die kostengünstigste Variante dar, ist allerdings hinsichtlich der Gewässergüte als nachteilig zu werten, da dieses im Dollart und in der Außenems vermutlich zur Zunahme der Trübung führt. Daraus ergibt sich auch eine ungünstigere Randbedingung für die Unterems, da hierdurch deren Tidepumpe mit Sediment beliefert wird. Der daraus resultierende Sedimentimport erfordert dort eine jährliche Unterhaltungsbaggerung von rd. 2 Mio. m³ (70% davon erfolgen zwischen Leerort und Papenburg) und dessen Unterbringung auf Spülfeldern an Land.

2.8 Messwerte von Wasserstand, Schwebstoff-, Sauerstoff- und Salzgehalt

Wurden die Ausbau bedingten Änderungen in der Ems bis hierher in überwiegend qualitativer Form betrachtet, sollen nachfolgend Messwerte des Wasserstands, des Schwebstoff-, Sauerstoff- und Salzgehaltes die Änderungen verdeutlichen.

2.8.1 Beobachtete Wasserstandsentwicklung in der Unterems

Die Ausbau bedingte Zunahme der Tidedynamik lässt sich über die Wasserstandsmessung nachvollziehen. Da die kontinuierliche Aufzeichnung der Wasserstände entlang der Ems be-

reits lange vor dem intensiven Fahrwasserausbau begann, können Ausbau bedingte Reaktionen von natürlichen Vorgängen unterschieden und somit identifiziert werden. Als natürlicher Einfluss sind u.a. der Anstieg des mittleren Meeresspiegels und die Veränderung der Tideform an der Nordseeküste zu nennen [JENSEN et al. 2011]. Die Zunahme des Tidehubs in der Ems ergab sich im Wesentlichen aus der Absenkung des Tideniedrigwassers; im Verhältnis dazu vollzog sich lediglich eine relativ geringe Anhebung des Tidehochwassers.

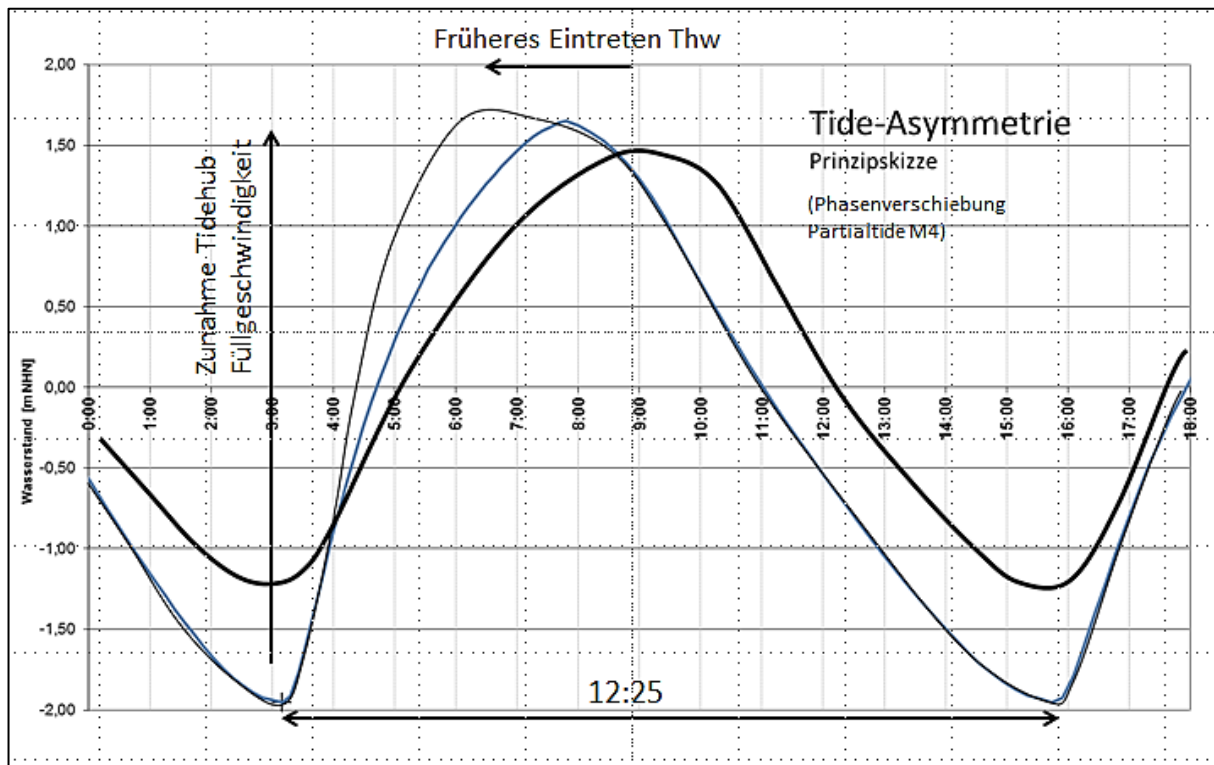


Abbildung 7 Asymmetrie der Tide – Prinzipskizze zur Veränderung der Wasserstandskennwerte

Für alle Ausbaumaßnahmen zwischen 1950 (vor Ausbau 1000t-Schiff) und 1997 (inkl. 7,3 m Tiefgang) wurde eine Ausbau bedingte Zunahme des mittleren Tidehochwassers bei Papenburg von etwa 23 cm, sowie eine Abnahme des mittleren Tideniedrigwassers von etwa 140 cm ermittelt (Verwendung von Jahresmittelwerten der Tidescheitel). Dabei entfiel auf den Zeitraum 1983 (4,5 m Tiefgang) bis 1997 eine Ausbau bedingte Zunahme des Hochwassers um 7 cm und die Abnahme des Niedrigwassers um 64 cm [MEIER 1999, DETTE et al. 1994; ENGELS 2012].

Im Zeitraum nach 1997 bis heute veränderten sich die Wasserstände durch die stetig durchgeführten Unterhaltungsmaßnahmen in die gleiche Richtung weiter, allerdings weniger stark als unmittelbar durch den Erstausbau. Nachfolgend werden die Änderungen der Tidescheitel-Eintrittszeiten geschildert, die zum größten Teil auf den Fahrwasserausbau zurückzuführen sind. Dabei wirkte sich jede Ausbaustufe signifikant auf die Wasserstandsverhältnisse aus, insbesondere im Abschnitt zwischen Herbrum und Leerort, wo sich ein besonders deutlicher Gestaltwandel der Tidewelle ereignete, mit einer Verkürzung der Flutdauer und einer Verlängerung der Ebbedauer, so dass die Tidekurve heute gegenüber der ursprünglichen Form eine deutliche Asymmetrie aufweist [ENGELS 2011b]. Anfang der 1950er Jahre, also vor den tiefgreifenden Ausbauten, dauerte die Flut bei Papenburg im Mittel rd. 5 Stunden und die Ebbe

rd. 7 Stunden und 25 Minuten. Im heutigen Zustand ist im Mittel eine Dauer von rd. 4 h bei Flut und 8 h 25 min bei Ebbe vorhanden.

Mit dieser Veränderung ging auch eine Abnahme der Eintrittszeitdifferenzen der Tidescheitel einher. So trat im ursprünglichen Zustand bei z.B. Papenburg das Tidehochwasser etwa 2 h später als bei Emden ein. Gegenwärtig existiert zwischen Emden und Papenburg eine Eintrittszeitdifferenz von weniger als 15 min. Dabei führt auch eine Überlagerung der einlaufenden Tide mit einer vom Tidewehr Herbrum ausgehenden Reflexionswelle dazu, dass das Tidehochwasser im oberen Abschnitt der Ems verfrüht, oftmals sogar früher als bei Emden eintritt. Die Eintrittszeitdifferenzen des Tideniedrigwassers haben sich hingegen nicht so stark verändert, denn ursprünglich betrug die Differenz zwischen Emden und Papenburg rd. 3 h und gegenwärtig etwa 2 h 30 min.

Die zeitliche Entwicklung der Tidecharakteristik lässt sich grob in drei Stufen einteilen: ab Mitte der 1980er (Ausbaustufe 5,7 m Tiefgang) eine deutliche Veränderung im oberen Abschnitt der Strecke Herbrum - Papenburg, ab Anfang der 1990er (6,3 m Tiefgang) im gesamten Abschnitt von Herbrum bis Papenburg und ab Mitte der 1990er Jahre (6,8 m Tiefgang, bedarfsweise 7,3 m) im gesamten Abschnitt von Herbrum bis Leerort [ENGELS 2011b].

2.8.2 Beobachtete Veränderung der Schwebstoff- und Sauerstoffkonzentrationen in der Unterems

Im Gegensatz zu den Wasserständen, die bereits lange vor dem intensiven Fahrwasserausbau kontinuierlich gemessen wurden, fanden die Messungen der Gewässergüteparameter lange Zeit nur vereinzelt und in nicht einheitlicher Form statt. Im Zeitraum vor den tiefgreifenden Fahrwasserausbauten wurden sehr wenige Daten erfasst. Von niederländischen Institutionen stammen Längsmessungen aus dem Jahre 1954, 1975/76, 1992/93 und 2005/06 zwischen Borkum und etwa Leer, bzw. teilweise bis nach Herbrum [DE JONGE 1983 und DE JONGE et al. 2014]. In den Jahren 1976 bis 1986 erfolgten durch die Wasserwirtschaftsverwaltung jährlich stationäre Schwebstoffmessungen an zehn Positionen von Emden bis Herbrum, und zwar über eine ganze Tide an der Wasseroberfläche und teilweise auch an der Gewässersohle. Ab Anfang 1982 wurden monatlich Messungen der Sauerstoff- und Schwebstoffkonzentrationen als Schöpfproben an der Wasseroberfläche zwischen Gandersum und Papenburg durchgeführt [RUPERT 1982]. Im Rahmen des Gewässerüberwachungsnetzes Niedersachsen wurden dann Mitte der 1980er Jahre vereinzelt Messstationen eingerichtet, die eine automatische und kontinuierliche Erfassung ausgewählter Parameter ermöglichten. Im Zusammenhang mit den Beweissicherungsmessungen des Emsausbaus wurden Ende der 1990er Jahre automatische Messstationen eingerichtet. Mit der Inbetriebnahme des Emssperrwerks im Jahre 2002 wurde das bis dahin bestehende System durch weitere Stationen ergänzt. Neben den o.g. Messungen der Wasserwirtschaftsverwaltung wurden auch von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (u.a. Bundesanstalt für Gewässerkunde) und weiteren Institutionen (z.B. Universitäten) Untersuchungen zur Schwebstoffverteilung ausgeführt. Wünschenswert ist eine Zusammenführung aller bisherigen Gewässergütemessungen,

um die Entwicklung detaillierter rekonstruieren zu können, insbesondere im Zeitraum vor Inbetriebnahme der Messstationen.

Die jährlich durch die Wasserwirtschaftsverwaltung durchgeführten Messungen ergeben einen Eindruck über die Variabilität der Schwebstoffwerte innerhalb der Tide, sowie auch über die vertikale Verteilung der Konzentrationen. Da die Messungen unter verschiedenen Abflussverhältnissen stattfanden, lässt sich darüber hinaus auch die saisonale Variabilität in gewissem Rahmen abschätzen. Damit weisen diese stationären Messungen einen großen Vorteil gegenüber den monatlichen Schöpfproben und auch gegenüber den Längsmessungen auf: Die monatlichen Schöpfproben sind trotz der turnusmäßigen Durchführung trotzdem als Stichprobe zu werten, da sie zu unterschiedlichen Zeitpunkten innerhalb der Tide genommen wurden und somit die starke zeitliche Variabilität der Schwebstoffkonzentration nicht berücksichtigen. Längsmessungen unterliegen neben der zeitlichen auch der räumlichen Variabilität. Auch wenn die o.g. Längsmessungen zu unterschiedlichen Zeiten innerhalb der Tide stattfanden, kann das Ergebnis von dem der stationären Messungen abweichen. Aus den vorgenannten Messungen wurden die nachfolgend aufgeführten Werte abgeleitet (als Jahresmittelwert), wobei diese verschiedenen Zeitbereichen zugeordnet wurden: 1950er Jahre (ohne Einfluss des Ausbaus), bis Mitte der 1980er Jahre (div. Ausbau und Unterhaltung), Ende der 1980er bis Anfang 1990er Jahre (5,7m-Ausbau; Begradigungen Weekeborg und Stapelmoor), Mitte/Ende der 1990er Jahre (6,3m- und 6,8m-bzw. 7,3m-Ausbau), Anfang der 2000er Jahre, sowie Gegenwart.

In den 1950er Jahren lag das Schwebstoffmaximum mit rd. 200 mg/l bei Gandersum. Oberhalb war eine weitaus niedrigere Konzentration vorhanden, bei Leer betrug diese etwa 50 mg/l. Bis Mitte der 1980er Jahre nahm die Konzentration des Schwebstoffmaximums auf rd. 400 mg/l zu, wobei sich die Lage des Maximums gegenüber dem vorherigen Zustand vermutlich nicht verändert hatte. Bei Leerort betrug die Konzentration zu dieser Zeit etwa 140 mg/l, bei Weener etwa 60 mg/l und bei Papenburg etwa 30 mg/l. Bis Anfang der 1990er Jahre stiegen oberhalb von Gandersum die Konzentrationen an, zudem verlagerte sich das Maximum von etwa Gandersum nach etwa Terborg (um 5 bis 10 km). Bei Gandersum betrug die Konzentration etwa 500 mg/l, bei Terborg (Maximum) etwa 600 mg/l, bei Leerort etwa 400 mg/l, bei Weener etwa 200 mg/l und bei Papenburg etwa 250 mg/l. Bis Ende der 1990er Jahre veränderte sich die Gestalt der Trübungszone grundlegend, denn oberhalb von Gandersum traten hohe Schwebstoffkonzentrationen auf (> 600 mg/l), wobei sich ein Maximum zwischen Leerort und Papenburg einstellte (> 1000 mg/l). In den Folgejahren nahmen die Konzentrationen oberhalb von Gandersum weiter zu, so dass heute bei Gandersum im Jahresmittel Konzentrationen von > 1.000 mg/l, bei Terborg > 2.000 mg/l und oberhalb von Leerort > 5.000 mg/l (Weener 5.000 bis 10.000 mg/l) auftreten. Die zumeist im Sohlbereich installierten automatischen Messstationen erfassen heute weitaus höhere Sedimentkonzentrationen als über die Schöpfproben an der Wasseroberfläche ermittelt (z.T. >10.000 mg/l).

Die Tide bedingte Schwankung der Schwebstoffkonzentration darf nicht vernachlässigt werden, da sie erheblich von den o.g. Mittelwerten abweichen kann. Zudem handelt es sich bei

den aufgeführten Werten um Daten der Wasseroberfläche, die nicht den gesamten Wasserkörper repräsentieren, da erfahrungsgemäß im Sohlbereich eine deutlich höhere Konzentration vorhanden ist. In Trockenwetterphasen mit geringem Oberwasserzufluss, so wie sie häufig im Sommer auftreten, sind höhere Schwebstoffkonzentrationen vorhanden und zudem wandert das Trübungsmaximum Ems aufwärts. Da in diesen Phasen zudem häufig hohe Wassertemperaturen auftreten, kommt es zusammen mit dem entsprechend intensiven Abbau der organischen Substanz der Schweb- bzw. Feststoffe zur Abnahme des gelösten Sauerstoffs. Für den Abschnitt oberhalb von Papenburg stehen keine ausreichenden Sauerstoffwerte zur Verfügung. Erstmals wurden ab einschließlich 1991, nachdem durch die monatlichen Schöpfproben ein Sauerstoffmangel oberhalb von Weener bemerkt wurde, Längsmessungen bei hoher Schwebstoffkonzentration und hoher Wassertemperatur durchgeführt.

Bis Mitte der 1980er Jahre traten im Abschnitt zwischen Herbrum und Papenburg aufgrund der relativ geringen Schwebstoffkonzentrationen und der Nähe zum Tidewehr Herbrum (über das sauerstoffreicheres Wasser zufließt) an der Wasseroberfläche Sauerstoffkonzentrationen von schätzungsweise > 4 mg/l auf. Auch im Abschnitt unterhalb von Papenburg wurden Sauerstoffkonzentrationen > 4 mg/l an der Wasseroberfläche gemessen (monatliche Probenahmen ab 1982). Aufgrund der lückenhaften Datenlage ist allerdings nicht auszuschließen, dass bereits zu diesem Zeitpunkt zumindest im Sohlbereich Sauerstoffwerte von < 4 mg/l auftraten.

Ab Mitte der 1980er bis Anfang der 1990er Jahre (5,7 m Tiefgang, Begradigung Weekeborg und Stapelmoor) trat eine Verschlechterung der Gewässergüte ein, ausgehend von einem zunächst begrenzten Flussabschnitt vermutlich oberhalb von Papenburg. Die signifikante Änderung der Tidedynamik im Abschnitt oberhalb von Papenburg stützt diese Annahme [ENGELS 2011b]. In den Folgejahren verlängerte sich die Strecke, in dem höhere Schwebstoffkonzentrationen und niedrigere Sauerstoffgehalte auftraten und reichte ab Anfang der 1990er vermutlich über den gesamten Abschnitt zwischen Herbrum und Papenburg, bzw. sogar darüber hinaus. Es ist anzunehmen, dass mit der Ausweitung der Strecke niedrigerer Sauerstoffwerte darin gleichzeitig die Absenkung des Sauerstoffniveaus einherging. Ab Anfang der 1990er (Ausbau 6,3 m Tiefgang) wurden das erste Mal ein Sauerstoffminimum von < 4 mg/l festgestellt, und zwar im Abschnitt oberhalb von Weener/Papenburg bis etwa Aschendorf. Die Schwebstoffkonzentrationen an der Wasseroberfläche waren bis dahin deutlich angestiegen und betragen ein Vielfaches der bis Mitte der 1980er gemessenen Werte.

Nach den Ausbaumaßnahmen Mitte der 1990er Jahre (6,8 m Tiefgang, bedarfsweise 7,3 m) erfolgte ein weiterer signifikanter Anstieg der Schwebstoffkonzentration. Mit den erhöhten Schwebstoffwerten traten häufiger und zudem über längere Zeiträume Sauerstoffwerte an der Wasseroberfläche von < 4 mg/l ein. Im Abschnitt um Weener wird häufig ein sogenanntes Sauerstofftal beobachtet. In diesen Bereich gelangt oftmals weder bei Ebbe noch bei Flut sauerstoffreicheres Wasser, so dass dort dann die schlechtesten Sauerstoffverhältnisse in der Tideems herrschen. Bei Erreichen einer Wassertemperatur von 15°C (Mai) liegt das Sauerstoffminimum bereits unter 5 mg/l ($>50\%$ der Tiden oberhalb Gandersum). Bei zunehmender

Wassertemperatur sinkt das Sauerstoffminimum weiter ab und dehnt sich räumlich weiter aus. Bei einer Wassertemperatur von 20°C (August) liegt das Sauerstoffminimum aller Tiden (100%) unter den nachfolgend genannten Niveaus: < 5 mg/l (oberhalb Terborg), < 3 mg/l (oberhalb Leerort) und < 1,5 mg/l (oberhalb Weener). Ab 22°C liegt das Sauerstoffminimum oberhalb Weener durchgehend bei < 0,5 mg/l. Das Sauerstoffdefizit während des Sommers hat sich in den letzten rd. 30 Jahren verstärkt. Bei der Betrachtung dieses Zeitraumes ist festzustellen, dass Verhältnisse mit niedrigen Sauerstoffgehalten tendenziell früher eintreten, sowie auch länger bis in den Herbst hinein anhalten. Im Abschnitt zwischen Papenburg und Terborg ist ein immer schnellerer Übergang zu Verhältnissen mit kritischen Sauerstoffwerten im Frühjahr zu erkennen. Unterschied sich vor rd. 30 Jahren das absolute Sauerstoffminimum des Monats März nur unwesentlich von dem des April, so ist heute im April ein absolutes Minimum zu erwarten, welches 4 mg/l niedriger als das des Vormonats ist [ENGELS 2009]. Eine weitere Verschlechterung der Sauerstoffsituation trat nach 2004 ein, die zusammen mit der Salzgehaltsentwicklung (s. unten) näher erläutert wird.

2.8.3 Beobachtete Veränderung der Salzgehaltsverhältnisse in der Unterems

In den letzten Jahrzehnten vergrößerte sich in Folge der Ausbaumaßnahmen der seewärtige Einfluss auf die Bewegungs- und Transportvorgänge der Unterems. Dieses äußert sich in einem Anstieg der Salzgehalte, besonders der maximalen Salzgehalte zum Ende der Flutstromphase. Nach 2004 setzte insbesondere in den Sommermonaten, ohne unmittelbare Folge auf einen neuen Ausbauzustand, eine starke Zunahme der Salzgehalte in der Unterems ein. Dieser Trend war um ein Vielfaches stärker als die Reaktionen, die vorher nach Ausbauvorgängen festzustellen waren.

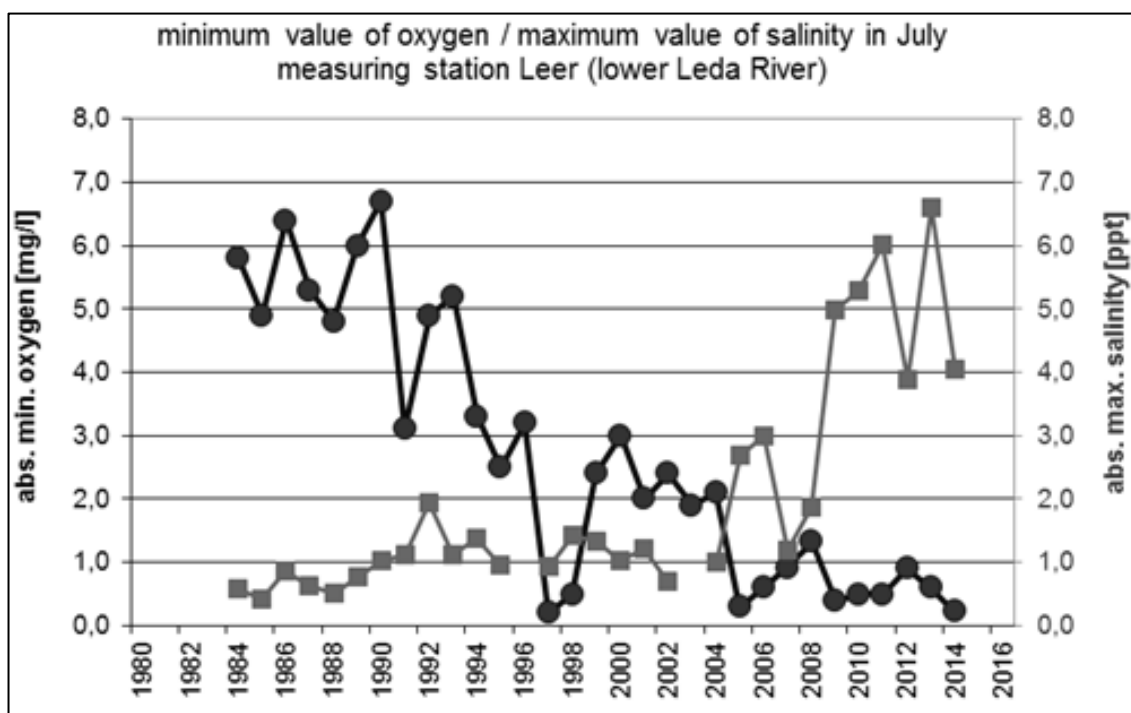


Abbildung 8 Messstation Leer (in der Leda, rd. 4 km oberhalb der Mündung in die Ems), minimale Sauerstoffkonzentration (abnehmend) und maximaler Salzgehalt (zunehmend) an der Wasseroberfläche des Monats Juli im Zeitbereich 1984 bis 2014 [ENGELS 2015]

Die höchsten seit Beginn der kontinuierlichen Aufzeichnung gemessenen Salzgehaltswerte oberhalb von Terborg wurden in den Jahren nach 2004 erfasst. Gegenüber früheren Verhältnissen erhöhen heute bereits relativ niedrige Tiden den Salzgehalt deutlich, wobei heute zudem eine längere Verweildauer erhöhter Salzgehalte festzustellen ist. Unterhalb von Terborg ist anhand der Messwerte keine so deutliche Änderung der Salzgehaltscharakteristik zu erkennen.

Die Sommermonate Juni bis Oktober, in denen zumeist ein geringer Oberwasserzufluss herrscht, weisen die stärkste Zunahme der Salzgehalte auf. Zudem ist der Trend im Bereich von Leerort (Messstationen Leerort/Ems und Leer/Leda) am größten und soll nachfolgend näher beleuchtet werden. Da die kontinuierliche Messung des Salzgehaltes bei Leerort erst Ende der 1990er Jahre begann, wird die vorher vorhandene Charakteristik anhand von Längsmessungen und sporadisch durchgeführter stationärer Tidenmessungen geschätzt. Bis Ende der 1980er Jahre (einschließlich Fahrwasserausbau für 5,7 m Tiefgang und Begradiungen Weekeborg und Stapelmoor) betrug der mittlere Salzgehalte bei Leerort schätzungsweise 0,5 ‰. Die Schwankung während der Tide (d.h. Zunahme während der Flut und Abnahme während der Ebbe), sowie die saisonale Variabilität (hoher Oberwasserzufluss im Winter und Trockenwetterphasen im Sommer) waren zu dieser Zeit gering. Lediglich in Ausnahmen, wie bei gemeinsamem Auftreten einer deutlich erhöhten Tide und geringem Oberwasser, nahm die Schwankung der Salzgehalte innerhalb der Tide zu, wobei Salzgehalte von $\geq 1\%$ zum Ende der Flutphase eintraten. Anfang der 1990er Jahre (Ausbau 6,3m Tiefgang) stiegen die Salzgehalte an, so dass das vorherige Niveau häufiger und länger überschritten und zum Flutkenterpunkt vereinzelt Salzgehalte von $\geq 2\%$ erreicht wurden. Damit stiegen auch erneut die Schwankung innerhalb der Tide und die saisonale Variabilität der Salzkonzentrationen. Ab Mitte der 1990er Jahre (6,8m bzw. 7,3m Tiefgang) war eine weitere Steigerung festzustellen, so dass seitdem auch vereinzelt Salzgehalte von $> 3\%$ zur Flutkenterung erreicht wurden. Im Jahre 2005 trat zum ersten Mal eine Häufung von Salzgehalten $\geq 3\%$ auf und im Juli 2010 lag der Wert zum Flutkenterpunkt sogar jeder Tide (100%) bei $\geq 3\%$, sowie von 40% der Tiden bei $\geq 5\%$.

Die Betrachtung des Salzgehaltsgradienten der Unterems zeigt oberhalb von Terborg eine gegenüber den Vorjahren deutlich veränderte Form und weist nach 2004 einen Zusammenhang mit der Intensität der Soleeinleitung bei Ditzum auf. In dem davor liegenden Zeitbereich ist keine Beeinflussung durch den Solbetrieb ersichtlich. Somit muss davon ausgegangen werden, dass die veränderten hydro-morphologischen Verhältnisse (Ausbau, Flutstromdominanz, Tidepumpe) der Ems nicht nur einen veränderten Sedimenttransport, sondern auch einen veränderten Salztransport bewirken [ENGELS 2011a]. Dabei verdeutlichte die Soleeinleitung bei Ditzum, deren Einfluss von 1976 bis 2004 nicht signifikant war, lediglich die Ausbau bedingte Veränderung des Transportverhaltens. Die Veränderung des Transportverhaltens steht im Zusammenhang mit der Ausbau bedingten Intensivierung der baroklinen Zirkulation, die Ursache des plötzlichen Wandels in der Mitte der letzten Dekade ist jedoch ungeklärt. Mit der deutlichen Erhöhung der Salzgehalte trat auch eine weitere Verschlechterung der Sauerstoffsituation in der Unterems, besonders deutlich oberhalb von Terborg, auf, was wiederum für eine Zunahme des Sedimenttransportes und dem damit verbundenen höheren Sauerstoffbedarf spricht.

Seit dem Sommer 2005 traten alljährlich im Sommer dauerhaft niedrige Sauerstoffwerte ein. Die Charakteristik des gegenwärtigen Zustands, mit der alljährlichen Wiederkehr sehr hoher Salzgehalte und niedriger Sauerstoffwerte, der Dauer dieser Phasen und der räumlichen Ausdehnung in der Unterems, unterscheidet sich deutlich zum Zeitbereich vor 2005. In 2010 wurde die Einleitstelle der Sole von Ditzum nach Rysum (Außenems) verlegt und gleichzeitig die Solrate durch Erweiterung des Kavernenfeldes gesteigert. Mit der Verlegung der Einleitstelle um rd. 20 km in die Außenems soll ein signifikanter Einfluss auf die Unterems vermieden werden [LBEG 2009 u. 2010]. Seit der Verlagerung der Einleitstelle verblieben die Salzgehalte der Unterems auf hohem Niveau, eine weitere Zunahme zeichnet sich bislang nicht ab.

3 Das Emssperrwerk Gandersum

Das im Jahre 2002 fertiggestellte Emssperrwerk zwischen Gandersum und Nendorp im Landkreis Leer, befindet sich rd. 45 Kilometer unterhalb des Tidewehres Herbrum und rd. 3 Kilometer oberhalb des Dollarts. Mithilfe dieses Mehrzweck-Wasserbauwerks ist seit Inbetriebnahme ein besserer Sturmflutschutz bis in die Stauhaltung oberhalb des Wehres Herbrum gewährleistet. Zudem dient das Emssperrwerk auch dem zeitlich begrenzten Aufstau der Ems zur Überführung tiefgehender Schiffe von Papenburg in Richtung See (vgl. 2.3). Der Betrieb des Emssperrwerks erfolgt durch den NLWKN und ist im Planfeststellungsbeschluss von 1998 und nachfolgenden Planänderungsbeschlüssen sowie dem Betriebsplan geregelt. Die Unterhaltung des Bauwerks wird durch den NLWKN wahrgenommen.

3.1 Bauwerksbeschreibung

Am Emssperrwerk beträgt der Abstand zwischen dem Hauptdeich der Moormerländer Deichacht am Nordufer und dem der Rheider Deichacht am Südufer 1040 m. Die Länge des Sperrwerks, das sich zwischen den Uferlinien der Ems befindet, beträgt 476 m. Die Querschnittsgestaltung des Bauwerks wurde so gewählt, dass der Durchflussquerschnitt und ebenso die Tidedynamik des Flusses möglichst wenig beeinflusst werden.

| Sperrwerksöffnungen im Überblick: | | | Verschlussart |
|-----------------------------------|-------|--------------------------------|---------------------------------------|
| 1 nördliche Nebenöffnung | NÖ1 | B = 50,0 m Drempel NHN - 7,0 m | Hubtor |
| 1 Hauptschiffahrtsöffnung | HSÖ | B = 60,0 m Drempel NHN - 9,0 m | Drehsegmenttor zwischen Kreisscheiben |
| 1 Binnenschiffahrtsöffnung | BSÖ | B = 50,0 m Drempel NHN - 7,0 m | Segmentverschluss |
| 1 Nebenöffnung | NÖ2 | B = 63,5 m Drempel NHN - 7,0 m | Hubtor |
| 3 südliche Nebenöffnungen | NÖ3-5 | B = 63,5 m Drempel NHN - 5,0 m | Hubtor |

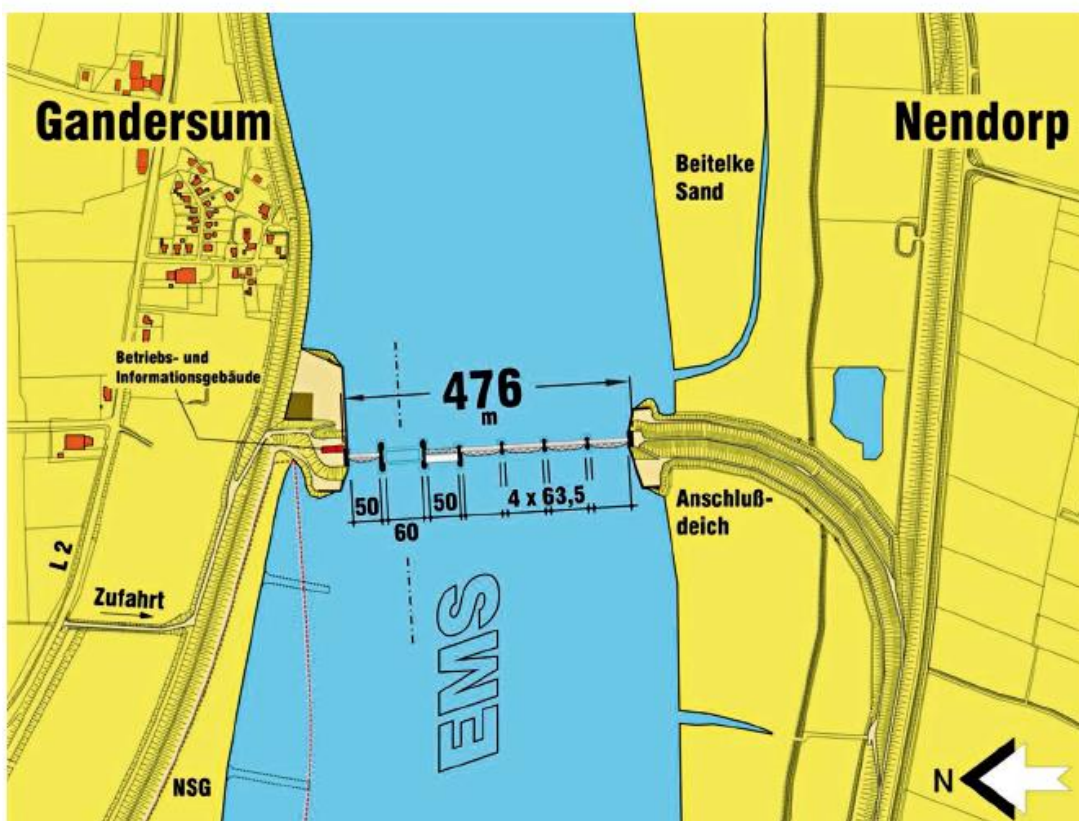


Abbildung 9 Lage und Abmessungen des Emssperrwerks zwischen den Hauptdeichen und der Uferlinien der Ems [NLWKN 2016]

Das Sperrwerk hat insgesamt sieben Öffnungen, sechs Strom- und zwei Randpfeiler. Die 60 m breite Hauptschiffahrtsöffnung liegt aus nautischen und hydraulischen Gründen im Verlauf des bisherigen Fahrwassers, nördlich davon eine 50 m breite Nebenöffnung und südlich die ebenso breite Binnenschiffahrtsöffnung. Daran schließen sich nach Süden 4 weitere Nebenöffnungen mit je 63,5 m Breite an. Die hohen Strömungsgeschwindigkeiten in den Sperrwerksöffnungen bei Schließ- und Ablassvorgängen erfordern eine massive Sohlsicherung ober- und unterhalb des Bauwerks [NLWKN 2016]. In Bauwerksnähe wurde die als Steinschüttung eingebaute Sohlsicherung voll vergossen, daran schließen lose Steinschüttungen an. Sowohl die Pfeiler als auch die Drempe in den Sperrwerksöffnungen wurden im Schutze von Baugruben, die mittels Spundwänden gesichert waren, hergestellt. Sämtliche Baugrubenwände sind als Schutz gegen Unterspülung der Bauteile im Untergrund verblieben. Im Sommer 2010 wurde ein oberstrom der Hauptschiffahrtsöffnung (HSÖ) entstandener Kolk verfüllt, mit einem Mehrstufen-Filter abgedeckt und eine sich an die bis dahin vorhandene Sohlsicherung anschließende Steinschüttung eingebracht [IGB 2016].

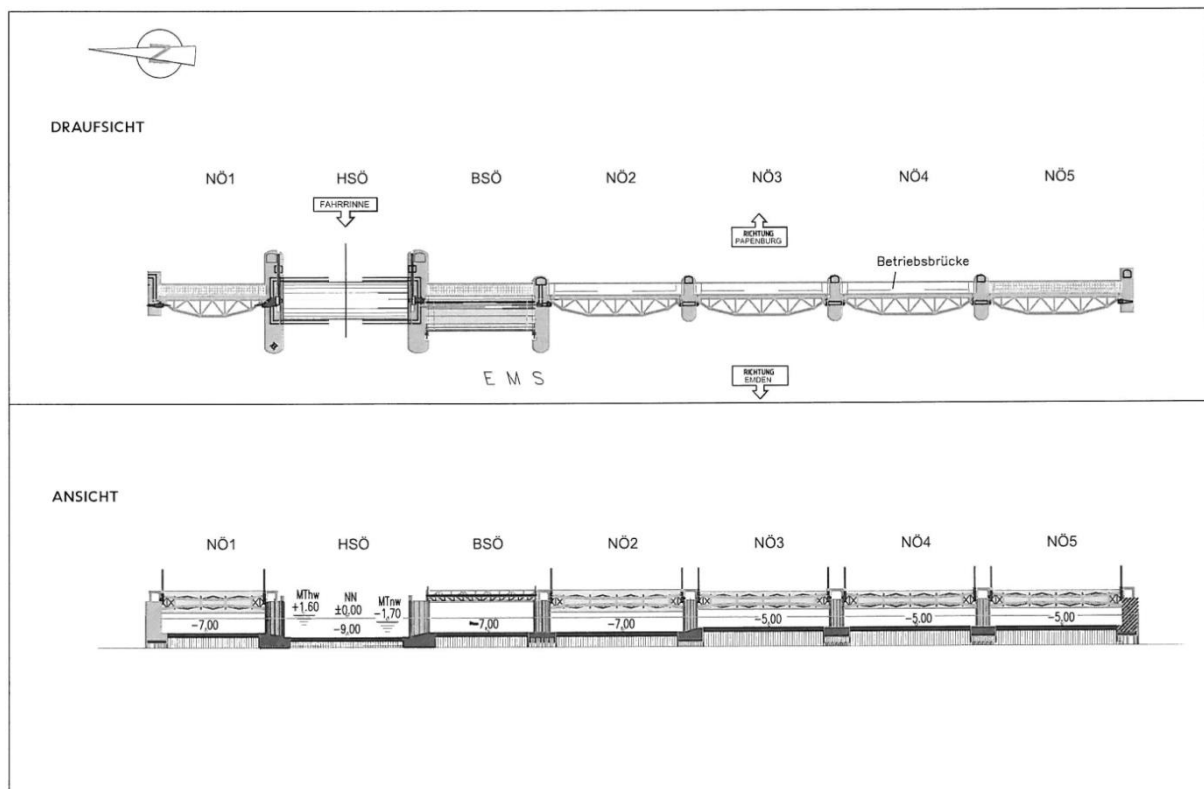


Abbildung 10 Draufsicht und Ansicht (aus Richtung Emden) des Emssperwerk im geöffneten Betriebszustand, Erläuterung: HSÖ (Hauptschiffahrtsöffnung, Drehsegment im geöffneten Zustand in Bodenmulde liegend), BSÖ (Binnenschiffahrtsöffnung, Drehsegment), NÖ1-5 (Nebenöffnungen 1 bis 5, Hubtore)

3.2 Vorhandene Sohlsicherung

Mit dem Bau des Sperrwerks wurde in dessen Umfeld eine Sohlsicherung über Steinschüttungen der Steinklassen¹ III ($d = 0,15$ bis $0,45$ m) und IV ($d = 0,2$ bis $0,6$ m) eingebaut. Im inneren Bereich besteht diese aus vergossenen Steinen (magenta, rot und gelb gekennzeichnete Flächen in Abbildung 11) und im äußeren Bereich, also im Übergang zur natürlichen Sohle der Ems, aus einer losen Steinschüttung. Im heutigen Zustand, nach Verfüllung eines später entstandenen Kolks, ist eine weitere Sohlsicherungsfläche oberstrom der Hauptschiff-fahrtsöffnung vorhanden. Deren Oberfläche besteht aus einer Deckschicht aus unvergossenen Steinen des Durchmessers $0,30$ bis $0,90$ m und darunter liegenden Filterschichten und schließt an die bereits vorhandene Sohlsicherung an. Die Schichtdicke der vorhandenen Sohlsicherung beträgt mehr als $1,5$ m.

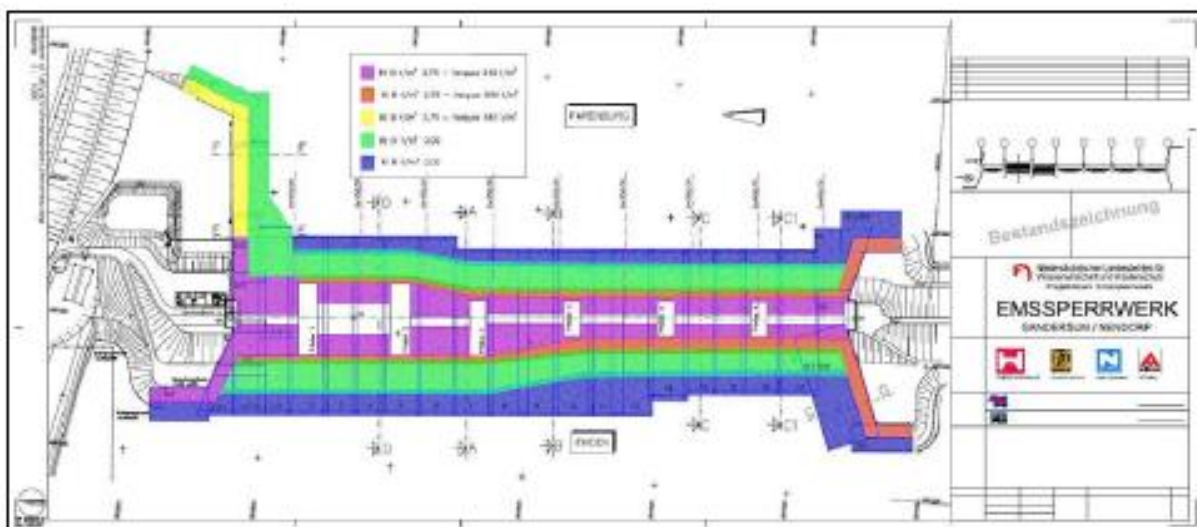


Abbildung 11 Mit der Errichtung des Emssperrwerks eingebaute Sohlsicherung

¹ Angaben der Steinklassen gemäß TLW 1997

4 Studie zur Machbarkeit der Tidesteuerung mit dem Emssperrwerk Gandersum

4.1 Technische Machbarkeit der Tidesteuerung „Teilöffnung - NLWKN“

Die gewählte Tidesteuerung am Emssperrwerk „Teilöffnung-NLWKN“ soll über die zeitweise Einschnürung des Durchflussquerschnittes die Ausbreitung der Gezeitenwelle in die Unterems beeinflussen. Dazu wird das Emssperrwerk zu Beginn der Flutphase, also zur Zeit der höchsten Flutstromgeschwindigkeiten, teilweise geschlossen und noch während der Flut wieder geöffnet. Die Voruntersuchungen des FTZ Kiel hatten gezeigt, dass sich daraus eine Reduzierung der Flutstromdominanz ergibt, was der bisherigen ungünstigen Entwicklung der Suspensionsgehalte, Transportraten und Sedimentation in der Unterems entgegengewirkt. Der Eintrag von Salz in die Unterems wird nicht erhöht. Über die Reduzierung der Schwebstoffgehalte ergibt sich ein positiver Effekt für den ökologischen Zustand. Die ausgewählte Art der Steuerung ermöglicht die Aufrechterhaltung des gegenwärtigen Tidevolumens, aus dem sich eine Stützung der vorhandenen Flussquerschnitte der Unterems ergibt.

4.1.1 Bisherige Naturversuche zur Tidesteuerung mit dem Emssperrwerk

Die Wirksamkeit einer Tidesteuerung wurde in mehreren Naturversuchen untersucht, bei denen das Emssperrwerk zu Beginn der Flut und z.T. bereits zum Ende der Ebbephase teilverschlossen war. Dabei wurden Torkombinationen und Verschlussgrade variiert, und zwar unter der Prämisse, dass in dem späteren dauerhaften Betrieb, parallel zum Drosselbetrieb eine Passierbarkeit des Sperrwerks für die Schifffahrt möglich sein sollte. Zu den Strömungsmessungen im Bereich des Emssperrwerks erfolgten auch Messungen der Schwebstoff- und Sauerstoffkonzentrationen in der Unterems, um die Wirksamkeit der Maßnahme beurteilen zu können.

Naturversuch September 2009

Der erste Versuch wurde im September 2009 durchgeführt. Zielrichtung war vorerst zu ermitteln, ob das Vorhaben verträglich für das Bauwerk ist und eine Schiffspassierbarkeit während des Steuerungsbetriebs aufrechterhalten werden kann. Erst in zweiter Linie sollten auch die Effekte auf die Schwebstoffe erfasst werden. In vier Tiden wurden die Nebenöffnungen (NÖ 1 bis 5) zum Ende der Ebbephase geschlossen und nach etwa 2 bis 4 Stunden wieder geöffnet. Der Steuerungsbetrieb wurde während der Tagtiden durchgeführt, die dazwischen liegenden Nachtiden blieben unbeeinflusst. Der Durchflussquerschnitt des Emssperrwerks wurde maximal zu 60 bis 70% verschlossen. Der Öffnungsvorgang fiel jeweils in die erste Hälfte der Flutphase, wobei dieser jedes Mal unterschiedlich gestaltet wurde. Die Hauptschifffahrtsöffnung (HSÖ) und die Binnenschifffahrtsöffnung (BSÖ) waren bei allen Steuerungen vollständig geöffnet. Zum Abschluss der Versuchsphase wurde auf Wunsch der WSV in einer weiteren Versuchsanordnung Sohlschwellen ähnliche Verhältnisse simuliert. Anhand der erhobenen Strömungsdaten wurde der bauwerksnahe Strömungszustand abhängig von Tidezeitpunkt und Verschlussstellung dokumentiert und als Ausgangsbasis für spätere Simulationsrechnun-

gen verwendet. Sie bildeten u.a. auch die Datengrundlage für eine Schiffsführungssimulation. Diese gab Hinweise darauf, dass die Beibehaltung des Schiffsverkehrs bei der Tidesteuerung nur eingeschränkt möglich ist. Darüber hinaus fanden in der Unterems Messungen der Strömung und Gewässergüte statt, die die Auswirkungen der jeweiligen Steuerung zeigten. [NLWKN & WSV 2010, BFG 2010, FRANZIUS INSTITUT 2010, AQUA VISION 2010a].

Naturversuch August 2010

In einem weiteren auf 4 Wochen angelegten Versuch (August 2010) sollte die Wirksamkeit der Tidesteuerung in Bezug auf den Schwebstofftransport und die Gewässergüte getestet werden. Der Versuch wurde vorzeitig beendet, da die angrenzende Emssohle der Versuchsanordnung nicht standhielt. In sieben direkt aufeinander folgenden Tiden wurden alle Tore, bis auf die HSÖ, bereits 1,75 Stunden vor Tideniedrigwasser geschlossen und nach 5 Stunden, also in der ersten Hälfte der Flutphase, wieder geöffnet. Die HSÖ blieb jeweils vollständig geöffnet. Der maximale Verschlussgrad des Sperrwerks lag jedes Mal zwischen 75 und 80%. Wie auch im September 2009 fand auch in dieser Versuchsphase ein begleitendes Messprogramm statt [AQUA VISION 2010b, BFG 2011, NLWKN 2011]. Ein Teilverschluss des Sperrwerks führt grundsätzlich zur Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten in den verbleibenden Öffnungen. Allerdings steigt mit der Zunahme der dortigen Geschwindigkeit auch der Fließwiderstand, woraus sich eine Erhöhung der Drosselwirkung ergab. Die Messungen im August 2010 ließen daher deutlichere (positive) Auswirkung auf die Gewässergüte erkennen, als in der Versuchsphase im September 2009.

Naturversuch Juli 2012

Im Juli 2012 folgte unter Berücksichtigung der Erkenntnisse von 2010 ein weiterer Feldversuch während vier direkt aufeinander folgender Tiden. Zielrichtung war diesmal die Gewinnung von Eichdaten für Optimierung der Rechenmodelle. Vor dem Hintergrund der Erfahrungen aus den bis dahin durchgeführten Naturversuchen, erfolgte erneut eine Sperrwerkssteuerung, bei der die HSÖ und BSÖ geöffnet blieben und alle Nebenöffnungen geschlossen wurden. Im Unterschied zu den bisherigen Versuchen wurden die Tore allerdings so gefahren, dass diese zum Ebbekenterpunkt geschlossen waren. Bei dieser Steuerungsvariante sollte das Tidevolumen der Ems möglichst wenig reduziert werden, um den Ebbstrom zu stützen, die Gewässergüte zu verbessern und das Baggervolumen zu verringern, da das Tidevolumen die derzeit existierenden Profilgrößen der Ems unterstützt. Dieser Ansatz, Schließzeitpunkt zum Ebbekenterpunkt und die Steuerung in der ersten Hälfte der Flutphase, wird bei der Tidesteuerung zukünftig weiterverfolgt. Der Durchflussquerschnitt wurde weniger als 70% versperrt und nach 3 bis 3,5 Stunden wieder vollständig geöffnet. Über ein aufwändiges Messprogramm wurden die Geschwindigkeits- und Transportverhältnisse, sowie auch die Entwicklung der Gewässersohle im Nahbereich des Emssperrwerks in großer Detailschärfe aufgenommen [NLWKN Aurich 2011, FRANZIUS-INSTITUT 2013 a und b].

Fazit der Naturversuche

In den Naturversuchen wurde ein Spektrum möglicher Steuerungsvarianten überprüft. Die Steuerungsdauer, verschiedene Versperrgrade und unterschiedlicher Zeiträume innerhalb der Tide wurden variiert. Das in den Naturversuchen gesammelte Datenmaterial lässt bereits heute auf einen positiven Effekt der Tidesteuerung auf die Gewässergüte sowie deren Abhängigkeit zu den Randbedingungen, schließen. Die Erkenntnisse zu den Strömungsverhältnissen und zur Sohlerosion am Emssperrwerk ermöglichten hinsichtlich der technischen Machbarkeit eine Vorauswahl von Steuerungsvarianten. Insbesondere die Betrachtung der Kolksicherheit nimmt hierbei einen besonderen Stellenwert ein. Die Auswahl einer optimalen Steuerung, die sowohl eine günstige Wirkung auf den Sedimenttransport hat als auch aus Sicht der Bauwerkssicherheit verträglich ist, sollte anschließenden Modelluntersuchungen vorbehalten bleiben. Die Daten der Versuche stellen dabei eine wichtige Grundlage zum Abgleich der Modellergebnisse mit der Natur dar.

4.1.2 Modelluntersuchungen zur Tidesteuerung mit dem Emssperrwerk und Entwicklung einer optimalen Variante

4.1.2.1 Modelluntersuchungen zur Reduzierung des Feststoffeintrags in die Unterems

Zur Wirksamkeit eines Tidesteuerungsbetriebs hinsichtlich der Reduzierung des emseinwärts gerichteten Feststofftransportes wurden vom FTZ Kiel morphodynamische Modelluntersuchungen durchgeführt. Dabei bestand die Möglichkeit, auch die Wirkung eines über mehrere Monate dauernden Betriebs zu prognostizieren.

Modelltechnisch wurde eine Schließdauer von 3 – 3,5 Stunden ab Ebbekenterung und ein maximaler Verschlussgrad von weniger als 70% berücksichtigt, womit man sich an dem Naturversuch vom Juli 2012 orientierte. Es wurde bestätigt, dass diese Tidesteuerung dämpfend auf die Systemdynamik wirkt, ohne das Tidevolumen wesentlich zu verringern. Suspensionsgehalte, Transportraten und Sedimentation in der Unterems würden durch die Schwächung des Flutstroms reduziert. Zudem wäre keine deutliche Änderung der Salzgehalte in der Unterems zu erwarten. Über die Reduzierung der Schwebstoffgehalte wurde eine positive Wirkung auf den ökologischen Zustand prognostiziert.

Weitere Untersuchungen ergaben, dass das Schließen der Tore zu Beginn der Flutphase eine deutliche Reduktion der mittleren und maximalen Flutstromgeschwindigkeiten bewirkt. Dagegen bleiben die mittleren und maximalen Ebbströmungen nahezu unverändert. Somit wird das Strömungsverhältnis verändert und die Flutstromdominanz geschwächt. Die Torsteuerung wirkt insbesondere durch die Schwächung des Flutstroms und somit reduzierend auf die Sedimentkonzentration und den Stromauftransport von Sediment. Dieses führt zu einer Verringerung der Akkumulationstendenz im oberen Bereich der Unterems. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Tidesteuerung eine im Vergleich zu anderen möglichen Lösungsansätzen weniger invasive Maßnahme darstellt, die auf die Beibehaltung des Tidevolumens abzielt.

Zusätzlich zu dem o.g. Untersuchungsumfang erfolgten weitere Modellierungen, in dem der Einsatz des Emssperrwerks auf vielfältige Art Berücksichtigung fand [BAW 2016]. Diese Analysen basierten z.T. auf Studien, die von der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung zum Einbau einer festen Sohlschwelle am Emssperrwerk beauftragt worden waren. Zudem wurde ein breites Spektrum von Steuerungsvarianten, jeweils mit unterschiedlicher Dauer und in verschiedenen Zeiträumen innerhalb der Tide, systematisch auf ihre Wirkung überprüft. Der günstigste Einfluss ging dabei von der sogenannten „flexiblen Sohlschwelle“ aus, bei der für eine begrenzte Dauer zu Beginn der Flut lediglich die Hauptschiffahrtsöffnung (HSÖ) des Emssperrwerks zum Teil geöffnet ist und alle anderen Tore komplett verschlossen sind. Die Funktionseigenschaft des HSÖ-Verschlusskörpers ist dabei vergleichbar mit der einer Sohlschwelle (siehe Tabelle 1 und Tabelle 4). Es wurde herausgestellt, dass sich ein Teilverschluss des Sperrwerks im Flutstrom am günstigsten auswirkt, eine zu starke Reduzierung des Tidevolumens zu vermeiden ist und die Dauer des Teilverschlusses nicht zu kurz sein darf. Darin fanden sich die Erkenntnisse der Naturversuche wieder und die Ergebnisse von FTZ Kiel wurden grundsätzlich bestätigt. Daneben wurde von der BAW auch der zeitweise Komplettverschluss des Sperrwerks um Tideniedrigwasser als mögliche Variante bezeichnet. Allerdings wurde dabei den niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten im Sperrwerksbereich besonders Rechnung getragen. Eine detaillierte Beschreibung der Varianten befindet sich in der Machbarkeitsuntersuchung der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung.

4.1.2.2 Modelluntersuchen zur Bauwerkssicherheit und zur erforderlichen Sohlsicherung im Bereich des Emssperrwerks

Während einer Tidesteuerung sind die Strömungen in den Öffnungen des Emssperrwerks und im Nahfeld des Bauwerks erhöht. Die bisherigen Erkenntnisse zur Auswirkung eines Tidesteuerungsbetriebs auf die Strömungsverhältnisse im Bereich des Sperrwerks basieren auf den Naturversuchen des NLWKN und des WSA Emden im Jahr 2009, sowie erweiterter Versuche des NLWKN in den Jahren 2010 und 2012. Die grundsätzliche Machbarkeit einer dauerhaften Tidebeeinflussung durch das Emssperrwerk musste im Hinblick auf die Belastung des Bauwerks und der angrenzenden Sohle überprüft werden. Dazu wurde die morphologische Entwicklung des Sperrwerksnahbereichs bei Durchführung der Tidesteuerung über einen Zeitraum von zwei Jahren betrachtet [ZANKE 2016]. Hierzu erfolgten modelltechnisch morphodynamische Kolkuntersuchungen mit beweglicher, erodierbarer Sohle. Zu mehreren Steuerungsvarianten wurde die zu erwartende Größenordnung und Lage von Auskolkungen ober- und unterhalb des Bauwerks bestimmt. Ein besonderes Augenmerk galt der jenseits der bestehenden Sohlsicherung befindlichen Gewässersohle, deren Befestigung in derzeitiger Betriebsweise bislang nicht erforderlich ist. Die Messdaten der Naturversuche wurden zur Kalibrierung des Modells verwendet. Die gutachterliche Stellungnahme zur Frage der Sohlsicherung und Kolkbildung am Emssperrwerk bei Betriebsfällen zur Tidebeeinflussung [ZANKE 2016] befindet sich in Anlage 1.

Torsteuerungen unter der Prämisse „Aufrechterhaltung der Schiffpassierbarkeit“

Zunächst wurde die Auswirkung unterschiedlicher Torstellungen auf die Stärke der Strömung, der Lagestabilität der Hauptströmung und auf die Kolkintensität ermittelt. Die Hauptschiff-fahrtsöffnung (HSÖ) wurde für die Modelluntersuchungen hinsichtlich der beabsichtigten Auf-rechterhaltung der Schiffbarkeit zunächst als stets geöffnet vorgegeben. Die HSÖ war bei jeder Steuerungsvariante zusammen mit einem jeweils anderen Tor vollständig geöffnet, wäh-rend die übrigen Tore vollständig geschlossen waren. Zudem wurde die vollständig geöffnete HSÖ auch mit einer Teilöffnung anderer Tore kombiniert. Im Modell war die Torstellung je-weils zum Ebbekenterpunkt eingestellt und wurde anschließend für 3,5 Stunden beibehalten. Im Fall „HSÖ offen und BSÖ offen“ (siehe Tabelle 2) ergab sich somit eine Vergleichbarkeit mit den Naturversuchen im September 2009 und Juli 2012.

Tabelle 2 Übersicht der Steuerungsvarianten im Rahmen der modelltechnischen Ermittlung der Strömungs-belastung und Kolkbildung

| Nr.▫ | Torstellung▫ |
|------|--|
| 1▫ | HSÖ-offen + BSÖ-offen, restliche Tore geschlossen▫ |
| 2▫ | HSÖ-offen + NÖ1-offen, restliche Tore geschlossen▫ |
| 3▫ | HSÖ-offen + NÖ2-offen, restliche Tore geschlossen▫ |
| 4▫ | HSÖ-offen + NÖ3-offen, restliche Tore geschlossen▫ |
| 5▫ | HSÖ-offen + NÖ4-offen, restliche Tore geschlossen▫ |
| 6▫ | HSÖ-offen + NÖ5-offen, restliche Tore geschlossen▫ |
| 7▫ | HSÖ-offen + BSÖ-offen sowie NÖ1-NÖ3-teilgeöffnet, ▯ restliche Tore geschlossen▫ |
| 8▫ | HSÖ-offen + alle anderen Öffnungen teilgeöffnet, restliche Tore geschlossen▫ |

Am Beispiel der Variante „HSÖ offen und BSÖ offen“ werden nachfolgend die Eigenschaften der Steuerungsvarianten auf die Geschwindigkeitsverteilung geschildert (vgl. hierzu auch Ab-bildung 12). Im Strömungsschatten der geschlossenen Tore bildet sich zeitweise eine große Strömungswalze, die in ihrem Ausmaß den Durchflussquerschnitt einengt und die Strömung im nördlichen Bereich konzentriert sowie darüber hinaus über seine Rückströmung am südli-chen Ufer eine dortige Erosionsbelastung mit sich bringt. Diese Walzenströmung führt zu-sammen mit der Schräganströmung der BSÖ dazu, dass die Hauptströmung nach Passieren des Sperrwerks zunächst eine leichte Richtungsänderung gegen das nördliche Ufer erfährt. Im weiteren Verlauf bewirkt die Walze eine Ablenkung der Hauptströmung nach Süden. Die Walzenströmung führt dazu, dass eine intensive Hauptströmung mehrere 100 Meter in Rich-tung der Emskurve bei Oldersum wirkt. Dabei treten Strömungsgeschwindigkeiten bis etwa 4 m/s auf, so dass eine erhebliche Kolkbildung in diesem Abschnitt zu erwarten ist.

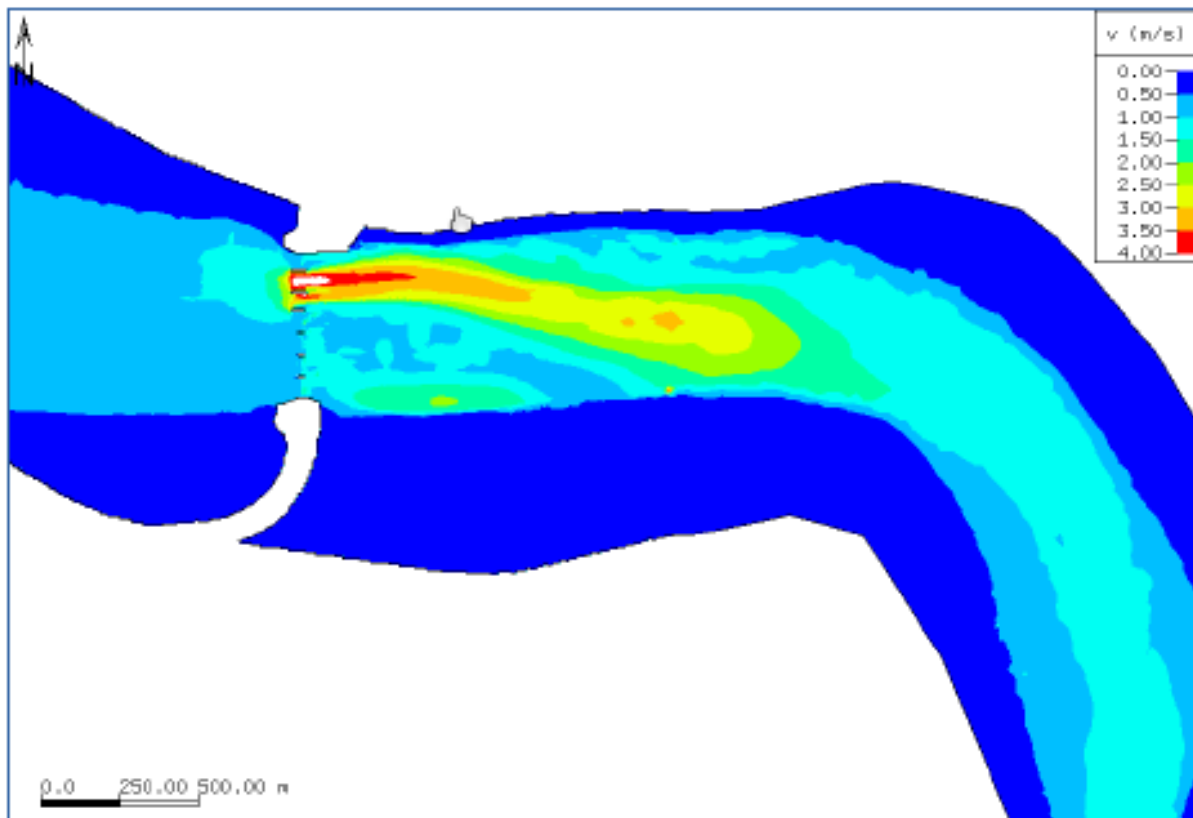


Abbildung 12 Maximale Strömungsgeschwindigkeiten im Fall „HSÖ und BSÖ offen“, aus ZANKE (2016)

Ähnlich fällt dieses Strömungsmuster auch bei allen Varianten aus, bei denen zwei Tore geöffnet sind (Varianten 1 bis 6 in Tabelle 2. Bei den Varianten 3, 4 und 5 entstehen variierende Wechselwirkungen zwischen den aus den jeweiligen Öffnungen austretenden Strahlströmungen. Dieses führt zu sehr unruhigen Strömungsverhältnissen, die die etwaige Schiffbarkeit des Sperrwerks, zusätzlich zu den bereits stark erhöhten Strömungen und deren schwer einzuschätzenden Richtungen, außerordentlich behindern würden. Zudem überstreicht eine instabile Lage des Ausflusstrahls eine größere Fläche, in der sich Kolke ausbilden können. Mithin ist die zu sichernde Fläche in solchen Fällen größer.

Um diesen nachteiligen Strömungsverhältnissen entgegen zu wirken wurde die vollständig geöffnete HSÖ mit einer Teilöffnung weiterer Tore kombiniert (Varianten 7 und 8). Im Hinblick die zu erwartende Kolkbildung erwiesen sich diese Steuerungen besser als die vorherigen Varianten. Dennoch würde die nach wie vor hohe Geschwindigkeitsbelastung eine Sohlsicherung erfordern, dessen Umfang technisch und finanziell kaum machbar wäre (vgl. auch Gegenüberstellung der Geschwindigkeitsverteilungen der untersuchten Varianten in Abbildung 13).

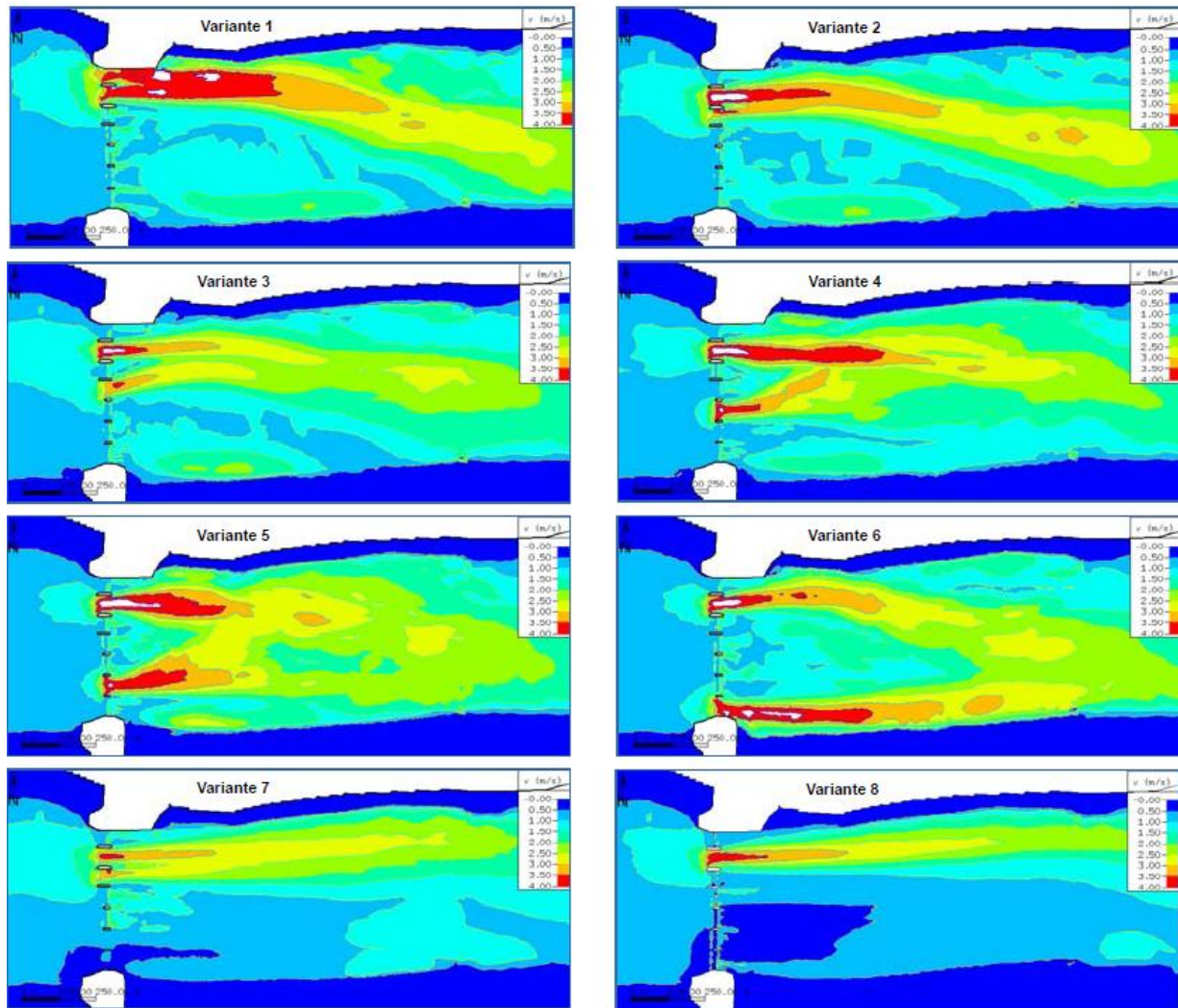


Abbildung 13 Übersicht über die maximal aufgetretenen Strömungsgeschwindigkeiten der Betriebssteuerungsvarianten 1 bis 8 (vgl. Tabelle 2), aus ZANKE (2016)

Torsteuerungen unter der Prämisse „begrenzte Unterbrechung der Schiffpassierbarkeit möglich“

Die vorgenannten Ergebnisse lassen erwarten, dass sich zusätzlich zu den bereits stark erhöhten Strömungen auch deren schwer einzuschätzende Richtungen ungünstig auf eine Schiffspassierbarkeit des teilweise geschlossenen Sperrwerks auswirken. Die Möglichkeit einer Tidesteuerung unter Beibehaltung der Schiffspassierbarkeit erschien nicht mehr im Bereich des Realistischen zu sein. Vor dem Hintergrund der starken Strömungsbelastung, die in allen bisher betrachteten Varianten vorhanden war, wurde die Untersuchung einer Tidesteuerung dahingehend variiert, dass eine Unterbrechung der Schifffahrt zeitlich begrenzt notwendig ist. Damit wurde ein neuer Ansatz zur Ermittlung einer optimalen Tidesteuerung ermöglicht, ohne die Wirksamkeit einzuschränken: Die Hauptschiffahrtsöffnung (HSÖ) wird in dieser Variante ab Ebbekehrung vollständig verschlossen, während alle anderen Tore bis auf einen Spalt abgesenkt sind und somit einen Teil des Durchflussquerschnittes frei geben. Durch die spezielle Verteilung der Spaltöffnungen im Sperrwerk ergibt sich eine optimale Verteilung des Durchflusses auf den gesamten Flussquerschnitt. Durch die Wahl der Spalthöhe ist eine

gewünschte Drosselwirkung einzustellen. Diese Art der Tidesteuerung ist sehr flexibel zu gestalten, denn unter Beibehaltung der Größenverteilung der Spaltöffnungen kann auch eine geringere Teilöffnung mit entsprechend höherer Drosselwirkung eingestellt werden. In diesem Fall steigen zwar die Strömungsgeschwindigkeiten direkt in den Toröffnungen, nehmen allerdings bereits innerhalb einer kurzen Strecke, und zwar im Bereich der bereits bestehenden Sohlsicherung, stark ab. Diese Strömungsbelastung ist geringer als während der Betriebszustände im Rahmen des Staubetriebs, für die die bestehende Sohlsicherung ausgelegt ist. Bei dieser Steuerungsart würde eine höhere Drosselung zudem nicht zu einer intensiveren Kolkbildung führen, da mit der Reduzierung des Durchflusses auch die Strömungsgeschwindigkeiten abnehmen. Es wurde hiermit eine Steuerungsvariante ermittelt, bei der auch bei einer langfristig betriebenen Tidesteuerung eine möglichst geringe Kolkbildung zu erwarten ist.

Der in 4.1.2.1 geschilderte Untersuchungsumfang der BAW [BAW 2016] wurde nachträglich mit Steuerungsvarianten erweitert, bei denen ebenfalls die HSÖ verschlossen wird und alle anderen Tore zum Teil geöffnet bleiben. Zudem wurde eine Kombination aus Teilverschluss und sogenannter flexibler Sohlschwelle betrachtet (siehe Tabelle 1 und Tabelle 4).

4.1.2.3 Auswahl der Variante „Teilöffnung-NLWKN“

In Anlehnung an die Naturversuche im September 2009 und Juli 2012 wurden bei den Modellberechnungen von ZANKE (2016) ein maximaler Versperrgrad von rd. 75% verwendet. Unter Anwendung einer optimalen Verteilung des Durchflusses auf den Querschnitt, sowie dem Verschluss der Hauptschiffahrtsöffnung (Prämisse „begrenzte Unterbrechung der Schiffpassierbarkeit möglich, s.o.) und einer Dauer der Steuerung von rd. 4 Stunden ergaben sich in einem Modelllauf, in dem die Sohlentwicklung über einen Zeitraum von zwei Jahren simuliert wurde, maximale Kolkiefen von rd. 5 m. Damit fielen diese Tiefen erheblich geringer aus, als die der vorher betrachteten Varianten (siehe Tabelle 2 und Abbildung 13). Außerdem ist damit eine stabile Position der zu erwartenden Kolke erreicht worden.

Die morphologischen Veränderungen am südlichen Ufer waren zudem wesentlich geringer als in den vorhergehenden Varianten, was als ein weiterer positiver Effekt zu werten ist. In der Gesamtbewertung aller untersuchten Varianten ist die Entwicklung der Kolksituation im Falle der letztgenannten Betriebssteuerung am günstigsten.

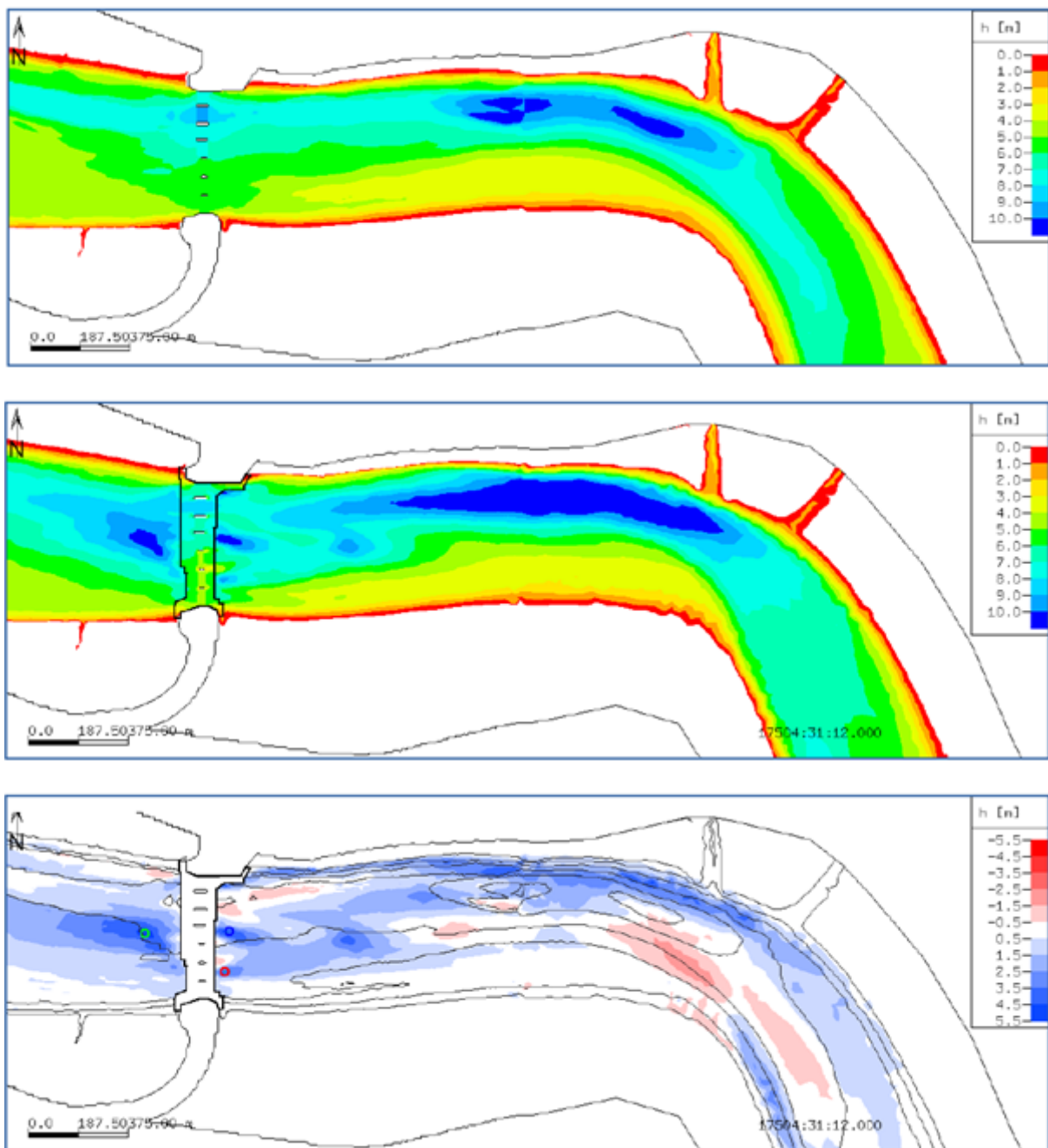


Abbildung 14 Entwicklung der Gewässersohle durch Steuerung der Variante „Teilöffnung-NLWKN“. oben: Tiefenplan der Ausgangssituation, Mitte: Gestalt der Sohle nach zwei Jahren, unten: Höhendifferenz. Randbedingungen: kontinuierlich erhöhter Tidehub, ganzjährige Tidesteuerung; Anmerkung zur Skalierung der Tiefenpläne: Rot (NHN +/- 0 m) bis Blau (NHN -10 m); Differenzenplan: Rot (-5,5 m) bis Blau (+5,5 m)

Angesichts der Modelluntersuchungen zur Reduzierung des Feststoffeintrags in die Unterems ist von einer positiven Wirkung dieser Steuerung auszugehen. Zudem stellt sie keine zu drastische Maßnahme dar und behindert darüber nur begrenzt die ökologische Durchgängigkeit.

Diese Steuerung wird als optimale Variante für die weiteren Verfahrensschritte ausgewählt. Unter der Bezeichnung „Teilöffnung-NLWKN“ ist in der hier vorliegenden Machbarkeitsuntersuchung die Möglichkeit zur Umsetzung zu ermitteln. Dabei ist die Flexibilität der Steuerung

als wichtige Eigenschaft mit zu betrachten. Zudem ist darauf hinzuweisen, dass aufgrund des jahreszeitlich unterschiedlichen Feststofftransports lediglich ein saisonaler Betrieb zur Anwendung käme.

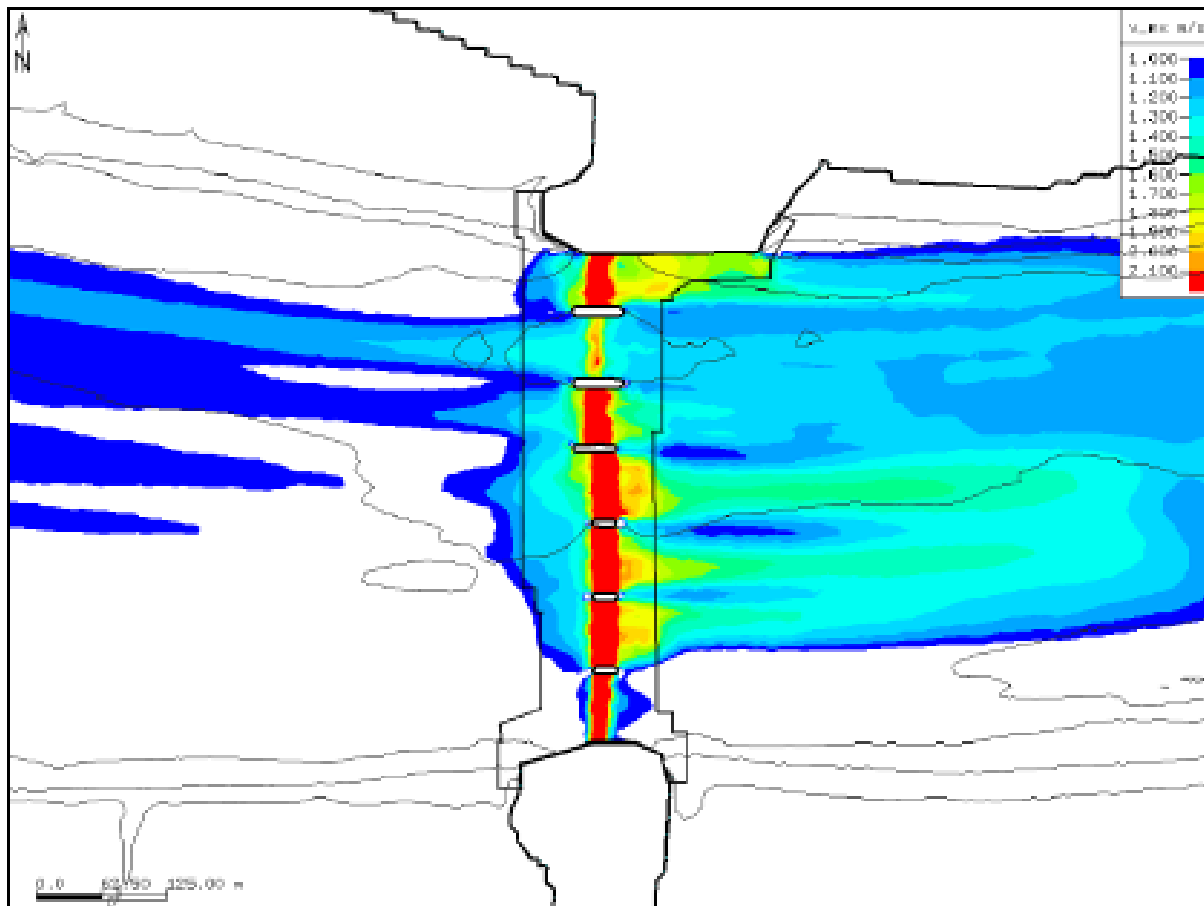


Abbildung 15 Maximale (nicht zeitgleich auftretende), tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeit ober-, unterhalb und in den Toröffnungen des Emssperrwerks während der Tidesteuerungsvariante „Teilöffnung NLWKN“; schwarzer Rahmen: bestehende Sohlsicherung, Quelle der Abbildung: ZANKE (2016)

4.1.3 Erläuterung der Bemessungs-Strömungsgeschwindigkeiten und Erweiterung der Sohlsicherung am Emssperrwerk zur Variante „Teilöffnung-NLWKN“

Bei der morphodynamischen Modellierung zur Ermittlung einer optimalen Steuerungsvariante [ZANKE 2016] wurde kontinuierlich eine deutlich erhöhte Tide (mittlerer Springtidehub +20%) und eine Steuerung jeder Tide über einen Zeitraum von zwei Jahren berücksichtigt. Angesichts eines geplanten saisonalen Steuerungsbetriebs und des realen Tidenspektrums stellt das Berechnungsergebnis den Worst-Case-Fall dar. Die vorgenannten Modelluntersuchungen sind Grundlage zur Bemessung der erforderlichen Erweiterung der Sohlsicherung, in die die ermittelten Geschwindigkeiten mit einem von ZANKE empfohlenen Sicherheitszuschlag von 30% Berücksichtigung finden. In IGB (2016) wurden die vorgenannten Modellergebnisse inkl. der darin enthaltenen Sicherheiten zur Bestimmung einer dafür ausreichend starken Sohlen-sicherung verwendet. Demnach ist im Nahbereich des Sperrwerks die Ausweitung der bereits bestehenden Sohlsicherung vorgesehen. Dazu wird empfohlen, auf einer Fläche von maximal 320.000 m², die direkt an der bestehenden Sohlsicherung anschließt, eine Steinschüttung

auszubringen (siehe Abbildung 16). Im Bereich der Sohlsicherung werden Auskolkungen vermieden, die sich durch den längerfristigen Steuerungsbetrieb ergeben könnten.

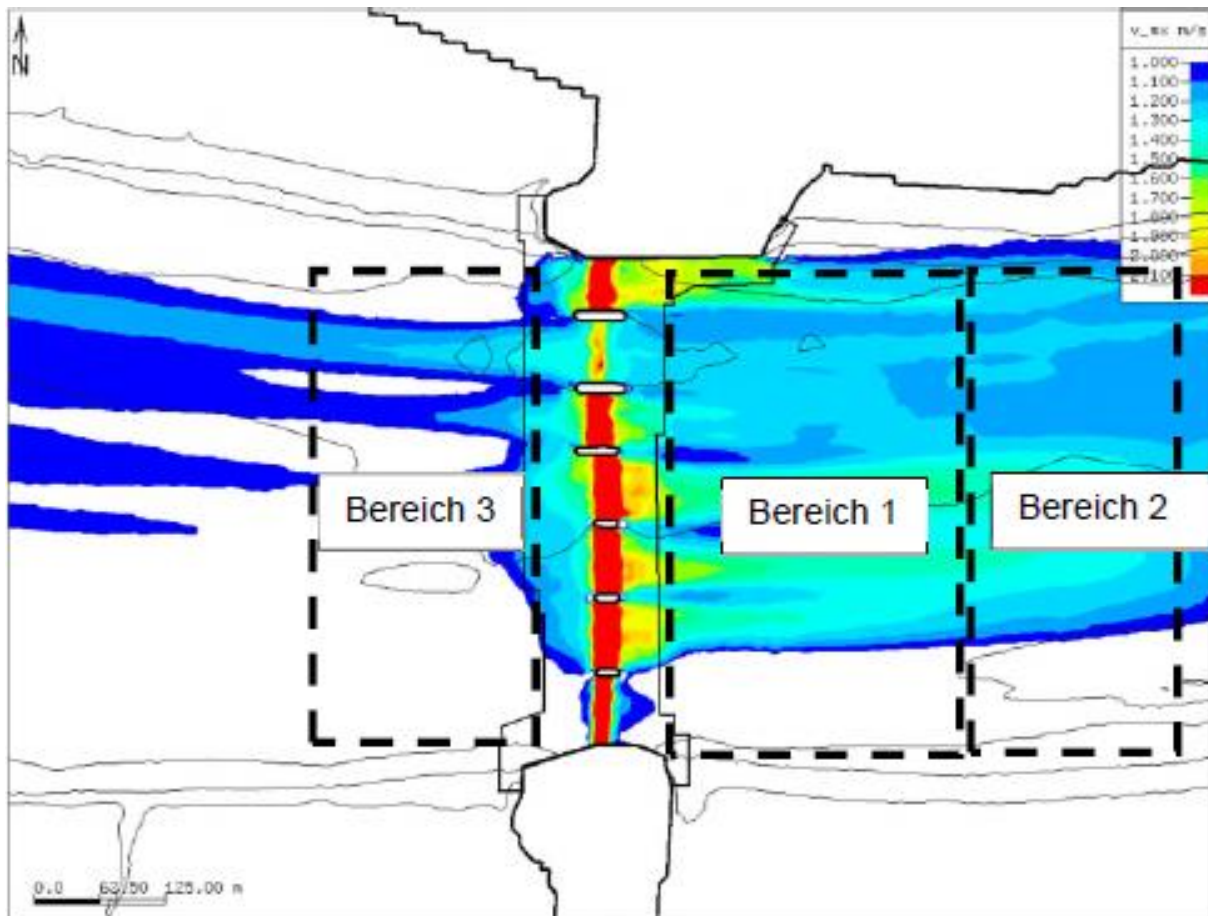


Abbildung 16 Sohlsicherung mit Schüttsteinen der Schichtdicke >50 cm (Bereich 1, 138.000 m²), >45 cm (Bereich 2, Größe 92.000 m²), und >25cm (Bereich 3, 92.000 m²). Quelle der Abbildung: IGB (2016), unter Verwendung der maximalen tiefengemittelten Geschwindigkeit der Bemessungstide aus ZANKE (2016)

Das Gutachten zur Sicherung der Gewässersohle in der Betriebssteuerungsvariante „Teilöffnung-NLWKN“ [IGB 2016] befindet sich in Anlage 2.

4.1.4 Beschreibung der gewählten Tidesteuerung „Teilöffnung - NLWKN“

In Zeiten, in denen aufgrund eines ausreichend hohen Oberwassers kein emsaufwärts gerichteter Feststofftransport existiert, so wie es nach Oberwasserwellen oder zumeist in den Monaten zwischen November und April der Fall ist [ENGELS 2007], wird keine Tidesteuerung benötigt. Regulär beginnt der Tidesteuerungsbetrieb im Frühjahr, spätestens mit Einsetzen des residuellen Ems aufwärts gerichteten Feststofftransports. Dabei können unterschiedliche Modalitäten berücksichtigt werden. Grundsätzlich ist ein Steuerungsbetrieb von rd. 4 Stunden zu Beginn der Flutphase jeder Tide vorgesehen (Grundform). Unter günstigeren Randbedingungen, d.h. bei erhöhtem Oberwasser und schwachem Tideeinfluss (niedrige Tiden, Nipp-Phase), woraus ein relativ schwacher emsaufwärts gerichteter Feststofftransport hervorgeht, ist ein flexibler Steuerungsbetrieb möglich. So könnte z.B. lediglich in jeder zweiten Tide ein Steuerungsbetrieb erfolgen, während in den übrigen Tiden keine oder eine verkürzte Steue-

rung ausgeführt würde. Zudem könnten bei Bedarf, in Abweichung zu den in Abbildung 17 dargestellten Spaltöffnungen, auch geringere Höhen eingestellt werden, um die Effizienz der Steuerung zu verbessern (zur Flexibilität der Steuerung siehe 4.1.2.3).

Während des Tidesteuerungsbetriebs werden die Sperrwerkstore zu Beginn der Flut, also in der Phase des stärksten Wasserstandsanstiegs, bis auf einen Spalt geschlossen. Darüber soll erreicht werden, die Intensität des in diesem Zeitbereich besonders starken Flutstroms zu reduzieren. Die Hauptschiffahrtsöffnung (HSÖ) wird als einziges Tor vollständig geschlossen, so dass lediglich die Spaltöffnungen der restlichen Tore durchflossen werden. Der Durchflussquerschnitt der Ems wird bis rd. 75% eingeeengt. Dabei wird die Spaltgröße der Tore so aufeinander abgestimmt, dass sich im Sperrwerksbereich ein möglichst gleichförmiges Strömungsbild ergibt [ZANKE 2016].

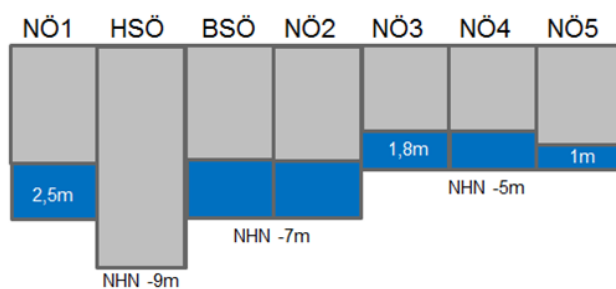


Abbildung 17 Schematische Darstellung der Spaltöffnungen (hellblau) mit Angabe der jeweiligen Sohlordinaten und Öffnungshöhen. Die HSÖ ist vollständig geschlossen.

Der Öffnungsvorgang zum Ende der Steuerungsphase erfolgt behutsam, um die unerwünschte Sunk- und Schwallbildung zwischen Gandersum und Herbrum zu minimieren. Die Grundform der Steuerung wird je Tide eine Dauer von etwa 4 Stunden haben und ist in mehrere Zeitphasen einzuteilen (siehe Tabelle 3).

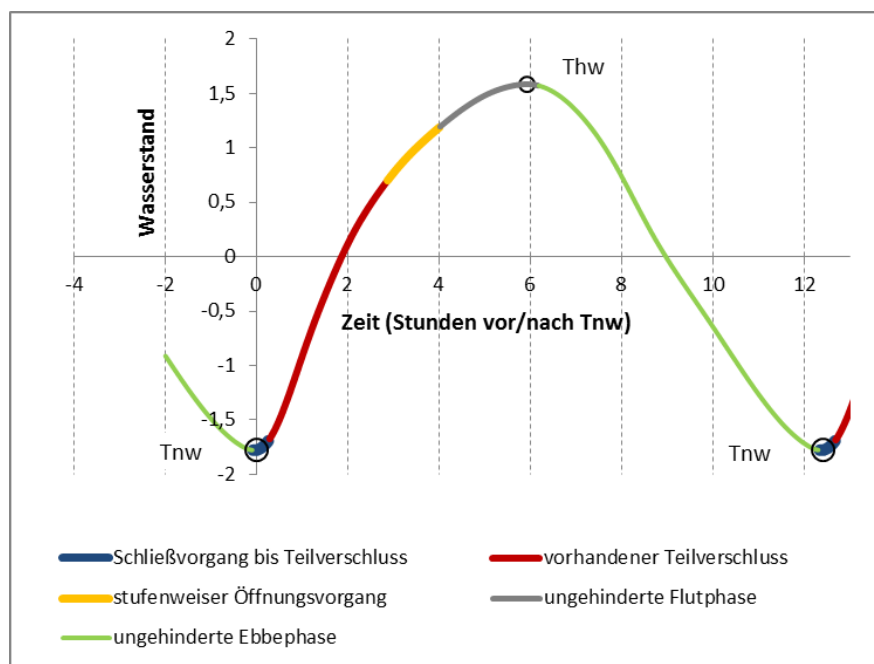


Abbildung 18 Schematische Darstellung der Torsteuerung (Grundform), siehe auch Tabelle 3

4.1.5 Betriebliche Belange zur Umsetzung der gewählten Tidesteuerung „Teilöffnung - NLWKN“

Hinsichtlich der Bedienung und Belastung des Emssperrwerks stellt die Tidesteuerung eine Sonderbetriebsweise dar, die von dem ursprünglichen Betriebsplan abweicht. Die bisher stattgefundenen Naturversuche und insbesondere die auf konkrete Steuerungsvarianten ausgerichteten Modelluntersuchungen haben ergeben, **dass der Betrieb der Variante „Teilöffnung – NLWKN“ nach derzeitiger Erkenntnis mit dem bereits bestehenden Emssperrwerk machbar ist.** Dabei sind folgende betriebliche Belange zu beachten:

Personal

Zur Gewährleistung eines kontinuierlichen Betriebs wird von der Notwendigkeit eines 3-Schichtbetriebes ausgegangen. Zusätzlich zu dem bislang eingesetzten Personal (zurzeit 3,5 Personen), welches sich weiterhin um die notwendigen Wartungen und Reparaturen zu kümmern hat, sind 8 Personen (4 x 2 Personen mittlerer Dienst) für den Tidesteuerungsbetrieb notwendig.

Betrieb

Aufgrund der deutlich höheren Inanspruchnahme des Emssperrwerks sowie seiner Aggregate ist mit einem erhöhtem Wartungs- und Reparaturaufwand zu rechnen.

Stromverbrauch

Bei einer angenommenen Tidesteuerung pro Jahr an 160 Tagen (saisonaler Betrieb) x 2 Tiden x 2 Torbewegungen, wird der Stromverbrauch gegenüber dem der heutigen Betriebsweise ansteigen.

Sohlsicherung

Um auch bei einem längerfristigen Steuerungsbetrieb Auskolkungen zu vermeiden, ist die Erweiterung der bestehenden Sohlsicherung erforderlich [IGB 2016].

Planung

Für den Einbau der zusätzlichen Sohlsicherung fallen Ingenieurleistungen für die Leistungsphase 1 – 9 an. In diesem Zusammenhang sind auch Vermessungsarbeiten, detaillierte Berechnungen zur Bemessung der Sohlsicherung und weitere Gutachten erforderlich.

Planfeststellung

Der Betriebsplan zum Emssperrwerk ist im Rahmen des durchzuführenden Planfeststellungsverfahrens anzupassen. Die Betroffenheit, die Art und der Umfang der auszulegenden Unterlagen, die Durchführung des Erörterungstermins sowie weitere Anforderungen der Planfeststellungsbehörde stehen noch nicht fest, so dass sich der Umfang zur Durchführung der Planfeststellung zurzeit nur grob abschätzen lässt.

Kompensation

Der Umfang der Kompensation ist abhängig von der durch die Sohlsicherung überbauten Fläche sowie Kompensation für weitere Eingriffe in die Natur und Umwelt.

Dieses wird dem Planfeststellungsverfahren vorbehalten sein.

Schifffahrt

Die zusätzlichen Erfordernisse für die Schifffahrt werden in der Machbarkeitsuntersuchung der WSV behandelt. Zum Beispiel werden Anzahl und Kosten der Liegestellen im Umfeld des Sperrwerks sowie die ggf. erforderlichen Maßnahmen zur Verkehrssicherung und -lenkung dort behandelt und bewertet.

4.1.6 Schlussfolgerung zur technischen Machbarkeit

Mit der Tidesteuerung wird den ungünstigen Transportprozessen, mit denen sich die Unterems mit Feststoffen auflädt und Ursache des schlechten Gewässerzustandes ist, gezielt entgegen gewirkt.

Für die Tidesteuerung wurden aufgrund der Erfahrungen aus den Naturversuchen und den Erkenntnissen aus den Modelluntersuchungen optimierte Steuerungsvarianten entwickelt. Die anfänglich untersuchten Torsteuerungen basierten darauf, dass die Schiffspassierbarkeit in der HSÖ während des Steuerungsbetriebs erhalten werden sollte. Im Laufe der Untersuchungen zeigte es sich, dass aufgrund der auftretenden Strömungsmuster die Tidesteuerung keine Schiffspassierbarkeit gewährleisten konnte. Ohne diese Randbedingung konnten strömungsgünstigere Varianten, die den Durchfluss möglichst gleichmäßig auf den Emsquerschnitt verteilen, entwickelt werden, ohne dabei einen Verlust von Wirksamkeit befürchten zu müssen. Die Variante „Teilöffnung – NLWKN“ ist nach derzeitiger Erkenntnis mit dem bereits bestehenden Emssperrwerk machbar. Zur Anpassung des ereignisorientierten Betriebs (Sturmflutkehrung und Staubetrieb) an die saisonale Tidesteuerung, ist die Personalstärke anzupassen. Es entsteht zudem zusätzlicher Wartungsaufwand und ein Anstieg der Betriebskosten. Die leicht erhöhten Fließgeschwindigkeiten am Emssperrwerk führen dazu, dass für den dauerhaften Tidesteuerungsbetrieb die Sohlsicherung erweitert werden muss. Dazu ist voraussichtlich ein Bereich jeweils oberhalb (rd. 500m) und unterhalb (rd. 200m) des Emssperrwerks durch zusätzliche Steinschüttungen zu sichern. Die zu sichernde Fläche beträgt rd. 32 ha.

Eine technische Machbarkeit ist gegeben.

4.2 Nutzeneffekte und Zielerreichungsgrad

4.2.1 Beschreibung der Effekte des Tidesteuerungsbetriebs

Die Erkenntnisse zur Wirkungsweise des Tidesteuerungsbetriebs auf den Feststofftransport in die Unterems basieren auf den Naturversuchen des NLWKN und des WSA Emden, sowie den morphodynamischen Modelluntersuchungen (siehe unter 4.1).

In Tabelle 3 ist der zeitliche Ablauf der Torsteuerung in Bezug auf den Eintrittszeitpunkt des Tideniedrigwassers (Tnw) zusammengestellt.

Tabelle 3 Zeitablauf der Torsteuerung (Grundform) und der erwarteten Auswirkungen auf die Tide und auf den Feststofftransport

| Zeitphase | Torsteuerung | Tide-Beeinflussung | Erwarteter Effekt |
|--|---|--|---|
| 1* Ebbstromphase bis Tnw | Das Sperrwerk ist vollständig geöffnet. | Es erfolgt ein ungehinderter Ablauf des Wassers. Das Ebbevolumen steht dem Ems abwärts gerichteten Feststofftransport in voller Höhe zur Verfügung. Die Höhe des Tnw wird kaum beeinflusst. | Es erfolgt ein ungehinderter Feststofftransport aus der Unterems in Richtung Außenems |
| 2* Tnw bis Tnw+0,25 Stunden (Ebbekenterung) | Das Sperrwerk wird teils verschlossen: <ul style="list-style-type: none"> ➤ HSÖ wird vollständig geschlossen, ➤ NÖ1-5 und BSÖ werden bis auf einen Spalt geschlossen. | Aufgrund der niedrigen Strömungsgeschwindigkeit zum Ende der Ebbstromphase, bzw. deren Abnahme gegen Null, erfolgt eine entsprechend geringe Auswirkung auf die Tide und deren Transportvorgänge. | Der aus der Unterems abwärts gerichtete Feststofftransport ist zum Ende der Ebbstromphase abgeschlossen, so dass dieser durch die Torsteuerung nicht mehr eingeschränkt wird. |
| 3* Tnw+0,25 bis Tnw+3 Stunden (Flutphase) | Das Sperrwerk ist teils verschlossen: <ul style="list-style-type: none"> ➤ HSÖ ist vollständig geschlossen, ➤ NÖ1-5 und BSÖ sind bis auf Spalt geschlossen. | Über den Teilverschluss des Sperrwerks erfolgt ein Flutstrom mit reduzierter Intensität. | Der Feststofftransport in die Unterems wird eingeschränkt. |
| 4* Tnw+3 bis Tnw+4 Stunden (Flutphase) | Das Sperrwerk wird stufenweise geöffnet: <ul style="list-style-type: none"> ➤ schrittweises Öffnen der NÖ1-5 und BSÖ, ➤ die HSÖ bleibt zunächst vollständig geschlossen und wird zum Ende zügig geöffnet | Die Flutstromintensität wird weiterhin reduziert. Durch das schrittweise Öffnen der Sperrwerkstore wird die unerwünschte Schwallbildung minimiert. Das zügige Öffnen der HSÖ erfolgt erst, wenn die NÖ1-5 und BSÖ vollständig geöffnet sind, wodurch eine unerwünschte Schwallbildung vermieden wird. | Der Feststofftransport in die Unterems wird eingeschränkt. |
| 5* Tnw+4 Stunden bis Ende Flutstromphase | Das Sperrwerk ist vollständig geöffnet. | Es erfolgt eine ungehinderte Füllung der Unterems bei relativ geringer Strömungsgeschwindigkeit. Zum Ende der Flut ist die Füllung gegenüber einer unregelmäßigen Tide kaum reduziert; die Höhe des Thw wird kaum beeinflusst. Der Eintritt des Thw wird dagegen verzögert, so dass die Tide symmetrischer wird. | Es erfolgt ein Feststofftransport in die Unterems, der entsprechend der relativ geringen Strömungsgeschwindigkeit relativ schwach ist. |

Die Hauptschiffahrtsöffnung (HSÖ) wird vollständig geschlossen und die anderen Tore jeweils für einen Spalt geöffnet:

- Binnenschiffahrtsöffnung (BSÖ) 2,5 m
- Nebenöffnungen 1 und 2 (NÖ1 u. 2) 2,5 m
- NÖ3 und 4 1,8 m
- NÖ5 1,0 m.

Jeder Phase der Torsteuerung ist weiterhin eine Beeinflussung der Tidebewegung und letztendlich eine Reaktion beim Feststofftransport zuzuordnen. Zusätzlich zur Übersicht in Tabelle 3 erfolgt nachstehend eine detaillierte Beschreibung der jeweiligen Vorgänge.

Grundsätzlich schwächt der Tidesteuerungsbetrieb den Feststofftransport der Flut und stärkt den Transport der Ebbe. Ziel ist es, darüber hinaus einen Nettofeststofftransport aus der Unterems in Richtung Außenems zu erreichen, bzw. den Eintrag von Feststoffen aus der Außenems in die Unterems zu verhindern. Die Charakteristik des vom NLWKN gewählten Torsteuerungsbetriebs hat zunächst einen vielfältigen positiven Einfluss auf die Hydrodynamik. Die jeweiligen Effekte sind nachfolgend erläutert und ergeben in ihrer Summe den angestrebten Nettofeststofftransport aus der Unterems in Richtung Außenems. Die grundlegende Wirkungsweise der Torsteuerung ist die Reduzierung des emsaufwärts gerichteten Feststofftransportes unter möglichst geringer Beeinträchtigung des derzeitigen Flutvolumens (siehe Abb.21). Dementsprechend erfährt das Ebbevolumen ebenfalls eine möglichst geringe Schwächung, was den emsabwärts gerichteten Feststofftransport unterstützt.

Durch die gewählte Sperrwerkssteuerung wird das derzeitige Tidevolumen kaum minimiert, so dass das Tidehochwasser lediglich geringfügig abgesenkt (siehe Abb. 19) und das Tideniedrigwasser kaum beeinflusst wird. Ein wichtiger Effekt ist das verspätete Eintreten des Tidehochwassers, so dass die Tide insgesamt eine symmetrischere Form erhält, da dadurch die Flutdauer verlängert und die Ebbedauer verkürzt wird (siehe Abb. 22). Die Folge ist eine Reduzierung der mittleren Flutstromgeschwindigkeiten, sowie eine Zunahme der mittleren Ebbestromgeschwindigkeiten, was der Flutstromdominanz entgegenwirkt.

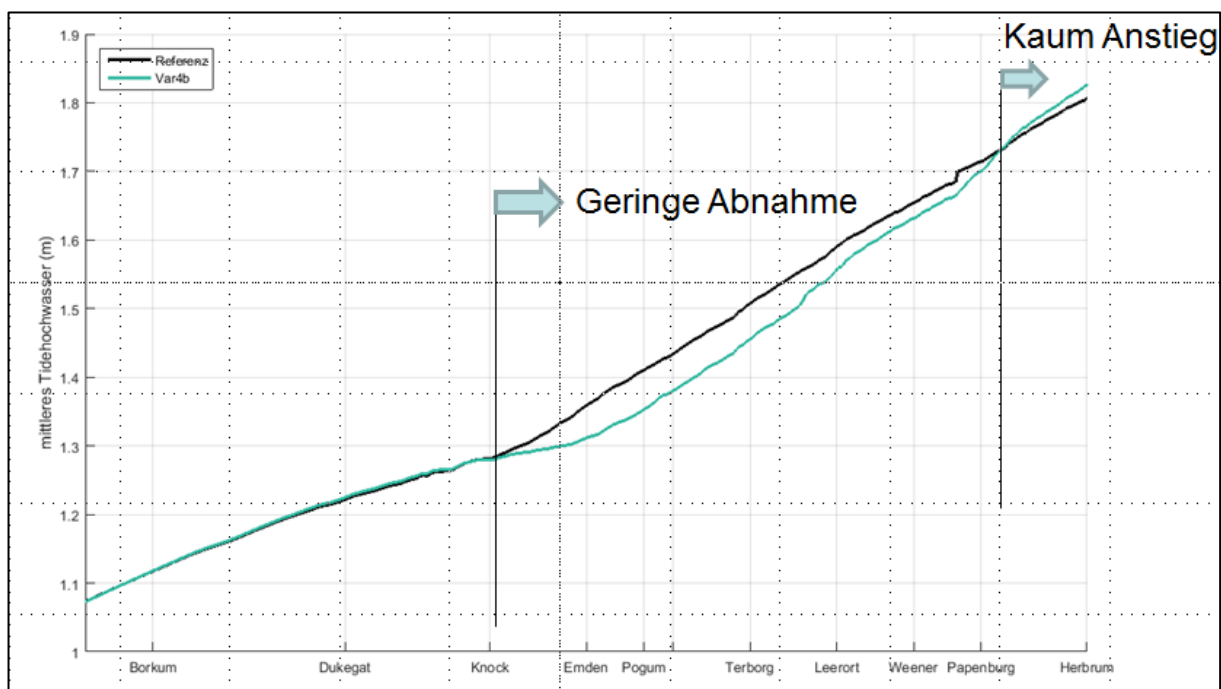


Abbildung 19 Veränderung des Tidehochwassers zwischen Borkum und Herbrum durch den Tidesteuerungsbetrieb „Teilöffnung – NLWKN“; Quelle: Forschungsstelle Küste des NLWKN

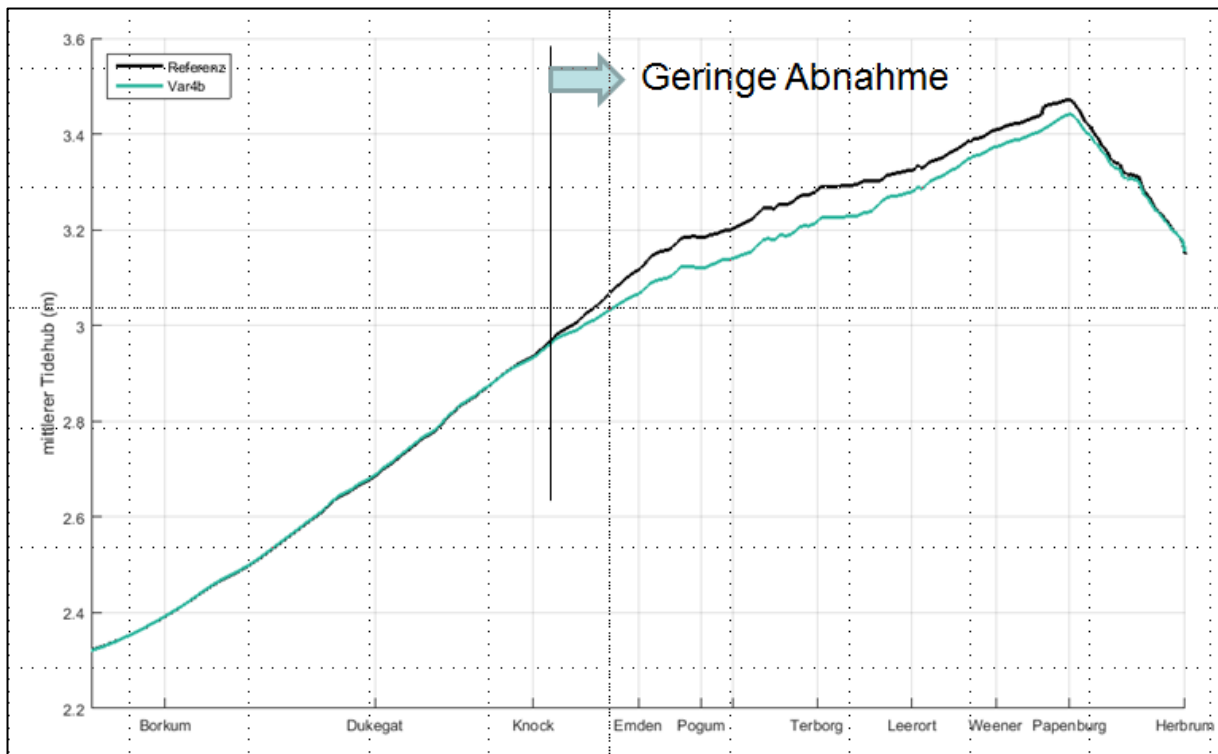


Abbildung 20 Veränderung des Tidehubs zwischen Borkum und Herbrum durch den Tidesteuerungsbetrieb „Teilöffnung – NLWKN“; Quelle: Forschungsstelle Küste des NLWKN

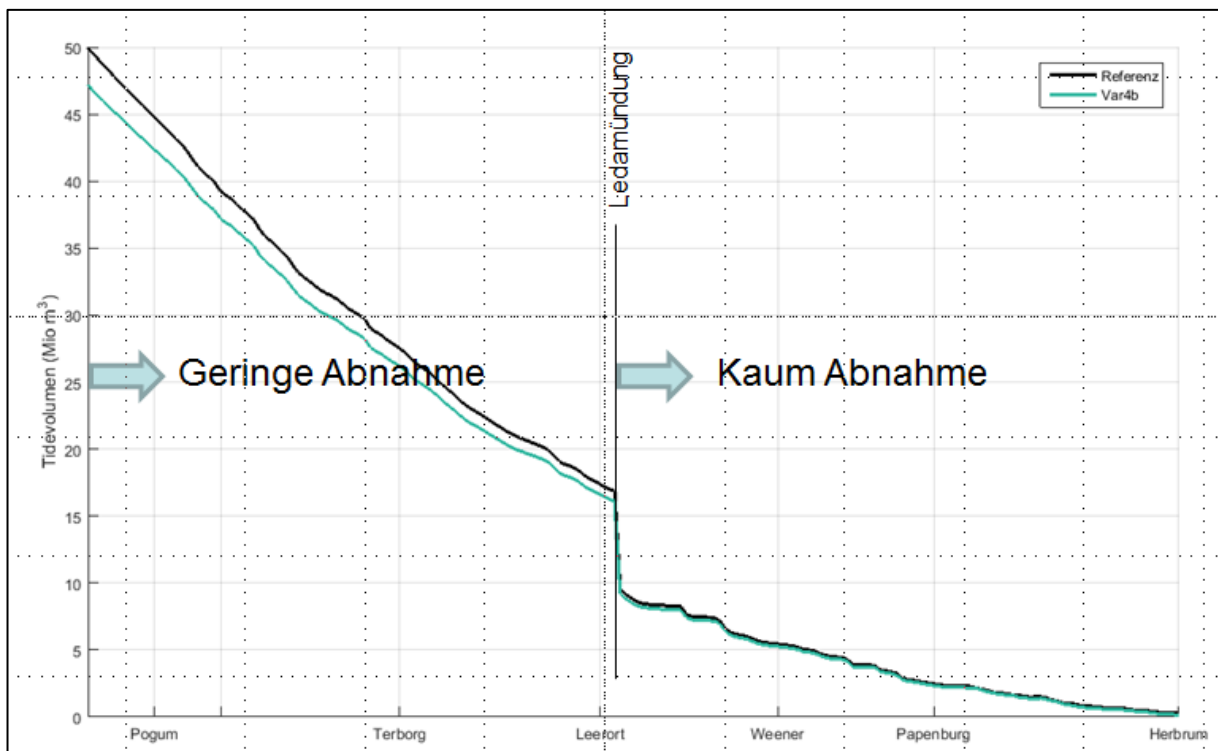


Abbildung 21 Veränderung des Tidevolumens zwischen Borkum und Herbrum durch den Tidesteuerungsbetrieb „Teilöffnung – NLWKN“; Quelle: Forschungsstelle Küste des NLWKN

Die Dominanz des Flutstromtransports wird auch durch weitere Effekte reduziert: Es ergibt sich eine Änderung des zeitlichen Verlaufs der Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb der jeweiligen Tidephase und der daraus resultierenden Transporteigenschaften, denn die hohen

Strömungsgeschwindigkeiten zu Beginn der Flut werden drastisch reduziert, so dass Sediment entsprechend schwächer aufgenommen und transportiert wird. Auch die Ruhephase um Tidehochwasser, die im derzeitigen Zustand zum Absetzen des suspendierten Materials führt, wird aufgrund der zunehmenden Symmetrie der Tide kürzer, so dass die anschließend einsetzende Strömungsgeschwindigkeit der Ebbe zügiger zunimmt und das Sediment entsprechend schneller in die entgegengesetzte Richtung in Bewegung setzt. Ebenfalls erfolgt der Wechsel von Ebbe- zur darauf folgenden Flutphase gemäßiger, wodurch Schwebstoffe zum Ende ihres Ebbeweges mehr Zeit haben, sich abzusetzen. Demensprechend befindet sich zu Beginn der Flutstromphase weniger Feststoff in Suspension, wodurch sich der Sedimenttransport der Flut zeitlich verzögert und dessen Transportstrecke reduziert. Im Weiteren führt die Abnahme der Flutstromgeschwindigkeiten zu einem weniger turbulenten Fließverhalten und somit zu einer Verminderung der vertikalen Durchmischung, woraus sich eine weitere Schwächung des Feststofftransports der Flutphase ergibt.

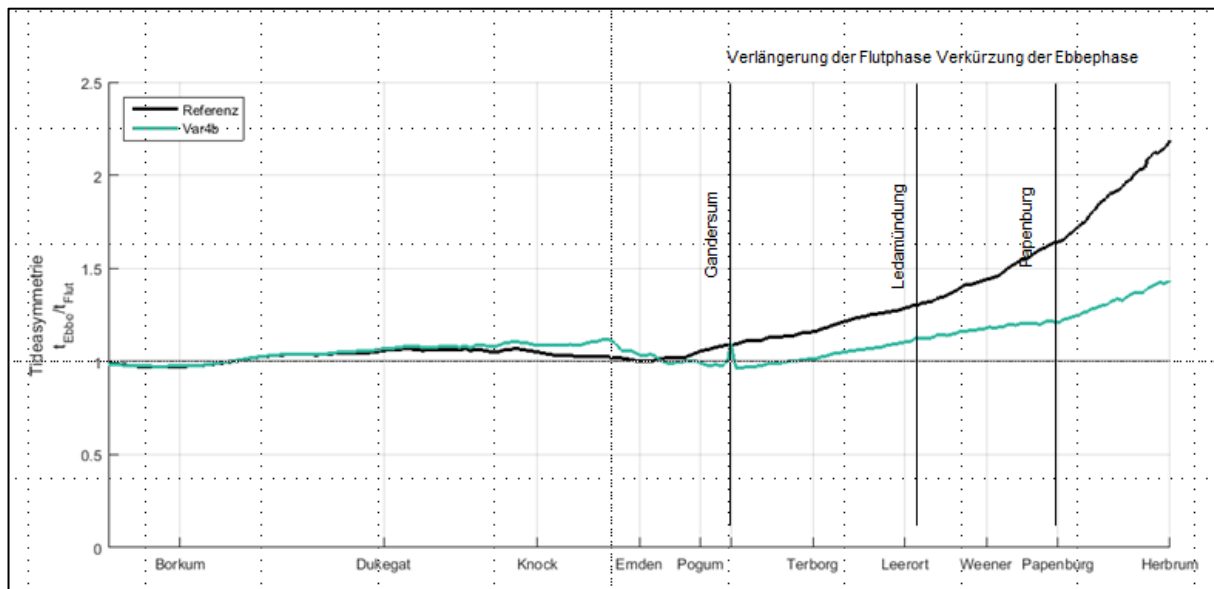


Abbildung 22 Verhältnis Ebbe- zu Flutdauer zwischen Borkum und Herbrum und dessen Veränderung durch den Tidesteuerungsbetrieb „Teilöffnung – NLWKN“; Quelle: Forschungsstelle Küste des NLWKN

Von der Gesamtwirkung der beschriebenen Einzeleffekte wird erwartet, dass der angestrebte Nettofeststofftransport aus der Unterems heraus in Richtung Außenems erzielt wird. Der reguläre Tidesteuerungsbetrieb beginnt bereits im Frühjahr, also spätestens mit Einsetzen der Flutstromdominanz, um die Bildung einer hohen Schwebstoffkonzentration und die Entstehung einer dauerhaft vorhandenen Flüssigschlickschicht in der Unterems von vornherein zu unterbinden. Erwartet wird eine Reduzierung der Sedimentation in den derzeitigen Ablagerungsbereichen der Unterems bis hin zur Freilegung der bestehenden festen Sohle.

Die Veränderung der Hydrodynamik bewirkt den angestrebten Nettofeststofftransport aus der Unterems in Richtung Außenems, wobei die Modelluntersuchungen einen Transport bis unterhalb des Emders Fahrwassers (etwa Knock) zeigen. Das Gutachten der Forschungsstelle Küste des NLWKN (2016; Anlage 4) weist explizit auf die Einschränkungen der zum Zeitpunkt der Machbarkeitsuntersuchungen verfügbaren Standes der Modelltechnik und die resultie-

rende erhebliche Unschärfe der Modellaussagen hin. Es gibt einen Hinweis auf die derzeit im Rahmen der weiteren Aktivitäten des NLWKN verbesserten Modelltechnik, die mit Fertigstellung deutlich belastbarere Aussagen zur Sedimentdynamik erlaubt. Die exemplarische Anwendung des erweiterten Modells im Gutachten verdeutlicht die Bandbreite der unter den verschiedenen Ansätzen zu erzielenden Modellaussagen, so dass die vorstehende Einschätzung der Gesamtabwägung dieser Informationen entspricht.

Der durch die Tidesteuerung bewirkte emsabwärts gerichtete Transport hat das gleiche Ausmaß, wie es bei höherem Oberwasser der Fall ist (vgl. Kapitel 2.6 und 2.7). Damit einhergehend wird das derzeit vorhandene unnatürliche Ausmaß der Trübungszone, die sich über einen Großteil der Unterems bis weit in den Süßwasserbereich erstreckt, vermindert und emsabwärts verschoben. Gleichzeitig nimmt innerhalb dieser Zone das Trübungsmaximum ab. Eine Angleichung des Systems an den natürlichen Zustand, so wie es vor den Ausbaumaßnahmen vorhanden war, wird erreicht (vgl. Kapitel 2.3 ff).

Neben einer starken Abnahme des Feststoffeintrags und der deutlichen Zunahme des Sauerstoffgehaltes, wird die Tidesteuerung zu einer leichten Abnahme der Salzgehalte zwischen Knock und Papenburg führen. Im mittleren Bereich dieses Abschnitts werden die mittleren Salzgehalte voraussichtlich um ≤ 1 PSU gesenkt.

Im Nahfeld des Emssperrwerks kommt es lediglich im Zeitraum der Querschnittseinengung zur signifikanten Erhöhung der Strömungsintensität (siehe Kapitel 4.1.3), die sich allerdings rasch mit zunehmendem Abstand zum Sperrwerk auf ein normales Maß reduziert. Jenseits der zusätzlichen Sohlsicherung von 200 m in Richtung Emden, sowie von insgesamt 500 m in Richtung Oldersum weichen die Geschwindigkeiten kaum von denen eines normalen Tideinflusses ab. Durch die Sohlsicherung ist die Gewässersohle auf den o.g. Abschnitten fixiert, während darüber hinaus die Gewässersohle nach wie vor der natürlichen Dynamik unterliegt.

4.2.2 Schlussfolgerung zur Zielerreichung

Die Auswirkungen der Tidesteuerung auf die hydrodynamischen Parameter und den Salzgehalt sind vergleichsweise gering bezogen auf die natürliche Dynamik dieser Größen, die zu erwartenden Auswirkungen auf den Schwebstoffhaushalt jedoch sehr positiv (Gutachten FTZ Kiel, BAW, FSK NLWKN, Naturversuche). Stromaufwärts gerichtete Nettosedimenttransporte können abgeschwächt oder umgekehrt werden. Es werden weniger Schwebstoffe von der Nordsee in die Außen- bzw. Unterems eingetragen. Die Wirksamkeit der Maßnahme reicht vom Beginn des Emders Fahrwassers bis nach Herbrum. Bei hohen Oberwasserabflüssen kann die Tidesteuerung ausgesetzt werden, da der Schwebstofftransport unter diesen Bedingungen ohnehin stromabwärts gerichtet ist.

Ziel ist es, dass sich der Sedimenthaushalt der Unterems wieder dem Zustand angleicht, der vor den Ausbaumaßnahmen der Ems vorhanden war. Da die Schlickproblematik Hauptursache der niedrigen Sauerstoffwerte ist, erfolgt durch die angestrebte Wirkungsweise des Tidesteuerungsbetriebs eine Verbesserung der Sauerstoffmangelsituation. Auch im Sohlbereich und den Uferbereichen würde die Sauerstoffsituation verbessert, da die Sedimentationsrate insgesamt abnimmt. Die Abnahme der Trübung würde die Lichtversorgung des Phytoplank-

tons verbessern, wodurch die Primärproduktion gefördert und der Sauerstoffhaushalt ebenfalls positiv beeinflusst werden könnte.

4.3 Flächenbedarf

Die Variante „Teilöffnung – NLWKN“ erfordert, im Rahmen der Sohlsicherung am Emssperrwerk, ca. 32 ha Flusssohle zu befestigen. Die vorgesehene Sicherungsmaßnahme stellt voraussichtlich Eingriffe im Sinne der §§ 14 ff BNatSchG dar. Demnach ist sie durch Ausgleichs- oder Ersatzmaßnahmen, unter Umständen auch durch Ersatzgeldzahlung zu kompensieren.

Die erforderliche Sohlsicherung führt auch zu einem (Teil-)Verlust des FFH-Lebensraumtyps 1130 „Ästuarien“. Dabei wird ein Teil der neu gesicherten Sohlfläche durch den erhöhten Strömungsdruck während des Steuerungsbetriebes für standortheimische benthische Organismen dauerhaft unbesiedelbar bleiben, ein anderer Teil wird vermutlich aufsedimentieren und als Lebensraum wieder zur Verfügung stehen. Gemäß den Bestimmungen des § 34 BNatSchG, nach der vorliegenden Fachkonvention von LAMBRECHT † & TRAUTNER (2007) sowie aus Erfahrungen anderer Eingriffsprojekte an der Ems ist anzunehmen, dass in einem Abweichungsverfahren nach § 34 (5) Maßnahmen zur Sicherung des Zusammenhangs des Netzes „Natura 2000“ („Kohärenzmaßnahmen“) vorzusehen sind. In welchem Ausmaß dies erforderlich sein wird, muss den entsprechenden planungsbegleitenden Instrumentarien (UVP, FFH-VP und LBP) vorbehalten bleiben. Rein flächenmäßig betrachtet ist man immer auf der sicheren Seite wenn von einem Kohärenzverhältnis von 1:1 ausgegangen wird (32 ha s.o.). Inwieweit die Herabsetzung der ökologischen Durchgängigkeit durch die Tidesteuerung am Emssperrwerk geeignet ist, weiteren Kompensationsbedarf auszulösen, kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht abgeschätzt werden.

Flächenbedarf, der durch Maßnahmen für die Schifffahrt (z.B. Liegeplätze) ausgelöst wird, ist hier nicht in die Betrachtung mit einbezogen worden.

4.4 Raumwiderstände

Raumwiderstände können entstehen, wenn Baumaßnahmen den Vorgaben und den Entwicklungszielen des Raumordnungsplans, der Landesplanung sowie der kommunalen Planung entgegenstehen. Diese müssen im Vorfeld durch eine Raumanalyse abgeprüft werden.

Zur Beurteilung, welche Raumwiderstände sich aus dem Bau einer Sohlsicherung am Emssperrwerk ergeben, wurden die einzelnen Schutzgüter „Mensch“, „Pflanzen und Tiere“, „Boden“, „Wasser“, „Kultur und sonstige Sachgüter“, „Landschaft“ und „Luft/ Klima“ betrachtet und anschließend zur Ermittlung konfliktarmer Bereiche überlagert. Als Datengrundlage wurden das Niedersächsische Landesraumordnungsprogramm, das Regionale Raumordnungspro-

gramm des Landkreises Leer und die Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung (GEOSUM) herangezogen.

Die durchgeführte Raumanalyse zeigt auf, dass das Schutzgut „Pflanzen und Tiere“ für die Umsetzung der Maßnahme die größten Raumwiderstände darstellen.

Raumwiderstände werden dabei im Wesentlichen durch die erforderlichen Kompensations- und Kohärenzmaßnahmen ausgelöst. In der „Einschätzung möglicher Umweltauswirkungen von Varianten der Tidesteuerung am Emssperrwerk“ (Anlage 3) heißt es:

„Durch die Verwirklichung der Tidesteuerungsvarianten werden Maßnahmen zur Kohärenz und Kompensation nach dem BNatSchG aller Wahrscheinlichkeit nach notwendig. Entweder geht es um die Beeinträchtigungen durch den Sohlverbau von ca. 32 ha (Varianten 4, 5 u. 6) oder 60 ha (Varianten 1 u. 2) Größe. Hinzu kommen weitere Flächenbeeinträchtigungen für den Bau einer Schleuse.

In einem zukünftigen Genehmigungsverfahren wären die Einzelschritte gem. § 34 BNatSchG abzuarbeiten. Hier sollten die „zwingenden Gründe des überwiegenden öffentlichen Interesses, einschließlich solcher sozialer oder wirtschaftlicher Art“ sowie die „Alternativlosigkeit“ (vgl. § 34 Abs. 3 BNatSchG) ohne größere Probleme begründbar sein. Wie schon ausgeführt dürfte diese Begründung beim Bau einer Schleuse schwieriger sein.

Die Bereitstellung von Kompensations- sowie insbesondere Kohärenzfläche ist im Emsästuar schon schwieriger umzusetzen, da nahezu alle geeigneten Flächen in Privatbesitz sind, schon belegt sind mit Naturschutzmaßnahmen / -auflagen oder aber eine Verpflichtung besteht, die Flächen in einen guten Zustand im Sinne von Natura 2000 zu bringen. In Frage kämen evtl. Flächen im Leda-Jümme Gebiet oder durch die Schaffung von ästuarinen Lebensräumen binnendeichs. Ob die geplanten Tidepolder (z.B. Coldemüntje oder Stapelmoor gem. Masterplan) für Kohärenzmaßnahmen nutzbar sind ist wahrscheinlich, muss jedoch abschließend im Genehmigungsverfahren entschieden werden. Wichtig an dieser Stelle ist der Hinweis, rechtzeitig mit der Suche sowie mit der Umsetzung von Maßnahmen zu beginnen, so dass sich keine Komplikationen im Genehmigungsverfahren ergeben. Rein flächenmäßig betrachtet ist man immer auf der sicheren Seite wenn von einem Kohärenzverhältnis von 1:1 ausgegangen wird.“

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Raumwiderstände existieren, aber aller Wahrscheinlichkeit nach kein unüberwindbares Verfahrenshindernis darstellen werden.

4.5 Einschätzung möglicher Umweltauswirkungen

Der Internationale Bewirtschaftungsplan 2015-2021 der FGG Ems (WRRL) sagt auf Seite 104 zur Tideems folgendes:

„Eine der herausragenden Anforderungen für die nächsten Bewirtschaftungszyklen bleibt weiterhin auch die Trübungsproblematik in der unteren Ems (Tideems) zwischen Herbrum und dem Dollart. Derzeit stellt sich die Situation an der Tideems vor allem in den Sommermonaten mit extrem hohen Schwebstoffkonzentrationen und damit verbunden massiven Sauerstoffdefiziten dar. Die Sohle und die Uferbereiche sind über weite Strecken stark verschlickt und sind von Flora und Fauna kaum besiedelbar. Die freie Binnenentwässerung wird durch das Zusetzen der Außenmuhden/Außentiefs behindert, Hafeneinfahrten und Häfen verschlickt, die Aufwendungen für die Unterhaltung der Bundeswasserstraße Ems sind immens gestiegen. Wesentlicher Grund für diese Veränderungen ist der verstärkte Ausbau der Ems insbesondere oberhalb von Emden bis Papenburg seit 1984, der in einer verstärkten Asymmetrie in der Tide (Flutstromdominanz) resultiert (Anmerkung: siehe Kapitel 2.3 ff).

Dadurch setzt vor allem bei niedrigen Oberwasserabflüssen ein stromauf gerichteter Transport von Feststoffen mit einer Ablagerung des Materials im oberen Bereich der Tideems bis nach Herbrum ein. Gleichzeitig entstehen durch die hohe Feststoffmenge, insbesondere durch den hohen suspendierten Anteil und bei Überschreitung einer bestimmten Wassertemperatur, kritische Sauerstoffverhältnisse. Aufgrund der vorgenannten Randbedingungen bestehen über einen großen Teil des Jahres niedrige Sauerstoffwerte.

Neuere Auswertungen haben gezeigt, dass seit etwa einer halben Dekade in der Unterems oberhalb von Terborg in den Sommermonaten zunehmend hohe Salzgehalte auftreten. Derzeit wird davon ausgegangen, dass die veränderten hydromorphologischen Verhältnisse (Flutstromdominanz) der Ems nicht nur einen veränderten Schwebstofftransport, sondern auch einen veränderten Salztransport bewirken. (Anmerkung: siehe Kapitel 2.8.3)

Die Folgen der Trübungsproblematik, z. B. die zunehmende auftretende Verschlickung der Sohl- und Uferbereich, der Lichtmangel und die Sauerstoffdefizite, wirken sich auf alle biologischen Qualitätskomponenten negativ aus, was insgesamt zur Verfehlung des guten ökologischen Potenzials in den Übergangsgewässern der Ems führt. Ebenfalls haben die sehr hohen Schwebstoffgehalte in der Tideems einen sehr deutlichen Einfluss auf die gemessenen Schad- und Nährstoffe. Mit zunehmendem Schwebstoffgehalt in der Wasserprobe steigen auch die Gehalte bestimmter Schad- (z. B. PAK) und Nährstoffe in der Gesamtwasserprobe, was letztendlich zu einem „nicht guten“ chemischen Zustand führt.

Aufgrund dieser von allen Akteuren an der Ems wahrgenommenen Problemlage wurde bereits in den vergangenen Jahren überlegt, wie eine Verbesserung des Zustandes erreicht werden kann. Ohne eine Lösung des Grundproblems der Trübung sind nachhaltige Erfolge nicht zu erreichen. Es sind dafür voraussichtlich erhebliche Anstrengungen notwendig. Derzeit werden sowohl von deutscher als auch von niederländischer Seite umfangreiche Untersuchungen durchgeführt und mögliche Lösungsansätze entwickelt“. [FGG Ems 2015]

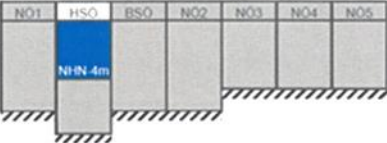
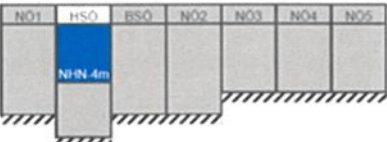
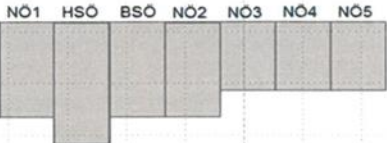
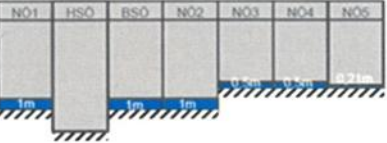
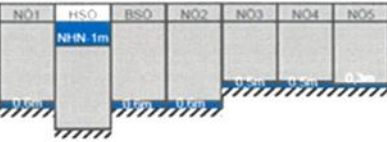
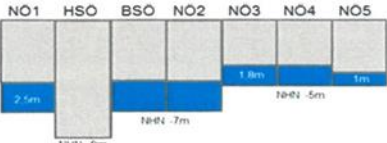
Aus der Vielzahl der verschiedenen Lösungsansätze, die ursprünglich in der Abwägung waren haben sich einige wenige als zielführend erwiesen. Der Masterplan weist noch drei verbliebene Varianten aus: Tidespeicherbecken, Tidesteuerung und Sohlschwelle. Zwischenzeitlich zeigt sich, dass sich aus diesen drei Ansätzen eine gemeinsame Lösung herauskristallisiert. Dabei ist die „flexible Tidesteuerung“, die Zusammenlegung der Varianten „flexible Sohlschwelle“ und „Tidesteuerung“, der entscheidende Baustein, der hier in der „Einschätzung möglicher Umweltauswirkungen“ untersucht wird. Es ist wahrscheinlich die einzig verbliebene Maßnahme, die ggf. mit Unterstützung von akzessorischen Tidespeicherbecken, den Systemwechsel in der Ems zurück zu einem besseren Zustand bewirken kann.

Die „flexible Tidesteuerung“ hat zum Ziel das System kräftig in Richtung des früheren Zustands zurück zu verändern. Daher kommt eine Abweichungsanalyse, wie sie bei der Beurteilung von Umweltauswirkungen von Maßnahmen die Regel ist, hier an ihre Grenzen und war bei der Erstellung der „Einschätzung möglicher Umweltauswirkungen von Maßnahmen zur Tide-Steuerung am Emssperrwerk“ eine Herausforderung. Alle Umweltauswirkungen müssen immer auch vor dem Hintergrund der zu erwartenden Verbesserungen bewertet werden. So steht ein Verlust von 32 ha Lebensraum für das Makrozoobenthos durch den Bau der erforderlichen Sohlsicherung ein potentieller Gewinn von rd. 2000 ha Lebensraum für das Makrozoobenthos durch flächendeckende Verbesserung der Habitate entgegen. Auch sind Änderungen oft gewollt und nicht negative Begleiterscheinung der Maßnahme.

Zu insgesamt sechs Steuerungs-Varianten legen das WSA Emden und der NLWKN Aurich jeweils eine Studie zur Machbarkeit vor. Dabei ist die Vereinbarung getroffen worden, dass der NLWKN die Einschätzung möglicher Umweltauswirkungen für jede der 6 Varianten vornimmt (siehe Kapitel 1.2). Eine detaillierte Beschreibung der Varianten 1 bis 5 befindet sich in der Machbarkeitsuntersuchung der WSV, die Variante 6 ist in Kapitel 4.1.4 beschrieben.

Der ungekürzte Bericht zur Einschätzung der möglichen Umweltauswirkungen befindet sich in Anlage 3. In dem dortigen Kapitel 5 sind die Folgen für die weitere Planung dargestellt und auszugsweise im Folgenden dargestellt:

Tabelle 4 Übersicht der Varianten zur flexiblen Tidesteuerung (vgl. auch Tabelle 5)

| | Aktivierungszeiträume | Torstellung |
|--|---|---|
| <p>Variante 1 (WSA) Flexible Sohlschwelle 2 Stunden</p>  | <p>Schließen der Tore mit Ebbstromkenterung (Dauer 20 Minuten); danach aktive Sohlschwellenzeit (2 Stunden); anschließend Öffnung der Tore (Dauer 1 Stunde)</p> | <p>Verschlusskörper der HSÖ befindet sich auf Höhenordinate NHN -4 m (Funktionseigenschaft vergleichbar mit Sohlschwelle), BSÖ und alle NÖ sind vollständig geschlossen.</p> |
| <p>Variante 2 (WSA) Flexible Sohlschwelle 4 Stunden</p>  | <p>Schließen der Tore mit Ebbstromkenterung (Dauer 20 Minuten); danach aktive Sohlschwellenzeit (4 Stunden); anschließend Öffnung der Tore (Dauer 1 Stunde)</p> | <p>Verschlusskörper der HSÖ befindet sich auf Höhenordinate NHN -4 m (Funktionseigenschaft vergleichbar mit Sohlschwelle), BSÖ und alle NÖ sind vollständig geschlossen.</p> |
| <p>Variante 3 (WSA) Zeitweise Komplettschließung</p>  | <p>Alle Tore werden bei einem Wasserstand von NHN -1m im Ebbstrom vollständig geschlossen und bei Wassergleichstand von Ober- und Unterpegel wieder geöffnet. Die Steuerungsdauer beträgt etwa 2 h 50 min (incl. Schließzeit) und die Öffnungsdauer weitere 20 Minuten.</p> | <p>Alle Tore des Emssperrwerks sind vollständig geschlossen.</p> |
| <p>Variante 4 (WSA) Teilöffnung-WSA</p>  | <p>Schließen der Tore mit Ebbstromkenterung (Dauer 20 min); danach Teilöffnung der NÖ1 bis 5 und der BSÖ (4 Stunden); anschließend Öffnung der Tore (Dauer 1 Stunde)</p> | <p>Die BSÖ und die NÖ1 bis 5 sind zum Teil geöffnet. Der Spalt zwischen Tor und Drempe beträgt 0,2 bis 1 m. Die HSÖ bleibt vollständig geschlossen.</p> |
| <p>Variante 5 (WSA) Teilöffnung mit Sohlschwelle</p>  | <p>Schließen der Tore mit Ebbstromkenterung (Dauer 20 Minuten); danach Teilöffnung der NÖ1 bis 5 und der BSÖ, sowie der HSÖ in Sohlschwellen-Stellung (4 Stunden); anschließend Öffnung der Tore (Dauer 1 Stunde)</p> | <p>Die BSÖ und die NÖ1 bis 5 sind zum Teil geöffnet. Der Spalt zwischen Tor und Drempe beträgt 0,3 bis 0,6 m. Die HSÖ bleibt vollständig geschlossen. Der Verschlußkörper der HSÖ befindet sich auf Höhenordinate NHN -1 m (Funktionseigenschaft vergleichbar mit Sohlschwelle)</p> |
| <p>Variante 6 (NLWKN) Teilöffnung-NLWKN</p>  | <p>Schließen der Tore mit Ebbstromkenterung (Dauer 20 Minuten); danach Teilöffnung der NÖ1 bis 5 und der BSÖ (rd. 2,5 Stunden); anschließend Öffnung der Tore (Dauer 1 Stunde 10 Minuten)</p> | <p>Die BSÖ und die NÖ1 bis 5 sind zum Teil geöffnet. Der Spalt zwischen Tor und Drempe beträgt 1 bis 2,5 m. Die HSÖ bleibt vollständig geschlossen.</p> |

4.5.1 Beeinträchtigung durch Sohlverbau am Emssperrwerk (ESW)

Sowohl die Varianten 1, 2, 4 und 5 des WSA als auch die vom NLWKN konzipierte Tidesteuerung (Variante 6) erfordern umfangreiche Sohlsicherungsmaßnahmen. Einzig bei Variante 3 (zeitweise Komplettschließung des ESW) kann auf Sohlverbau gänzlich verzichtet werden. Bei der Prognose des Eingriffs wird bei den Varianten 4, 5 und 6 von einer ca. 32 ha großen Bedarfsfläche ausgegangen, in der die bestehende Sohle zunächst nivelliert und dann mit Steinschüttungen ohne Verklammerung oder Verguss befestigt wird. Die Varianten 1 und 2 hingegen erfordern mindestens 60 ha Steinschüttungen. Die befestigten Bereiche werden aufgrund des betriebsbedingt starken Strömungsdrucks nur in Teilflächen wieder aufsedimentieren. Es muss daher eine dauerhaft naturferne Umgestaltung des Gerinnes an dieser Stelle angenommen werden, das einer Nutzung durch aquatische Lebensformen nicht mehr oder nur noch eingeschränkt zur Verfügung steht bzw. welches von veränderten Artengemeinschaften besiedelt wird. Die zu erwartenden Beeinträchtigungen betreffen die Schutzgüter Tiere (insbesondere Zoobenthos und Fische), Lebensraumtypen nach FFH-Richtlinie und Wasser. Aufgrund des zu erwartenden Flächenverlustes des Lebensraumtyps „1130 - Ästuarrien“ ist eine erhebliche Beeinträchtigung des FFH-Gebietes 002 „Unterems und Außenems“ im Sinne von § 34 BNatSchG wahrscheinlich, besonders schwer wiegen hier die zu erwartenden Beeinträchtigungen durch die Varianten 1 und 2. Diese Beeinträchtigungen sind natürlich ebenfalls als Eingriff im Sinne des § 14 BNatSchG zu werten.

4.5.2 Beeinträchtigung durch Verminderung der ökologischen Durchgängigkeit am Emssperrwerk (ESW)

Die ökologische Durchgängigkeit, also die Passierbarkeit für sich im Längsverlauf des Gewässers bewegend Organismen wird durch alle sechs Varianten während der oberwasserarmen Zeit der Monate April bis November eingeschränkt. Damit sind auch typische Wanderzeiten saisonal migrierender Fische und Rundmäuler betroffen. In der oben genannten Betriebsphase wird der Ems-Querschnitt am Sperrwerk über mehrere Stunden pro Tide im Mittel zwischen 60 – 75 % (Variante 6), 90 und 95% (Varianten 1, 2, 4 und 5), bzw. bis zu 100 % (Variante 3) eingeengt. Die Varianten 1 und 2 behindern die Durchwanderung zeitweise vor allem im sohlnahen Bereich, die Varianten 4 und 6 eher im Bereich der oberen Wassersäule, Variante 5 stellt eine Kombination aus beiden Öffnungsmöglichkeiten dar, Variante 3 unterbricht die Durchgängigkeit zeitweise vollständig. Die Varianten 1, 2 und 4, 5 und 6 reduzieren die Durchwanderbarkeit während der stromaufwärts gerichteten Flutphase, die Variante 3 betrifft partiell auch die Ebbphase. Die durch die Querschnittseinengungen der Varianten 1, 2 und 4, 5 und 6 hervorgerufene höhere Strömungsgeschwindigkeit an den Sperrwerksöffnungen birgt möglicherweise auch die Gefahr mechanischer Schädigungen passierender Organismen. Mögliche Beeinträchtigungen der Schutzgüter Tiere (Zoobenthos, Fische und Rundmäuler, eventuell auch Säugetiere), Lebensraumtypen und Boden/Wasser sind daher bei allen sechs Varianten gegeben. Wie genau diese zu bewerten sind und ob Erheblichkeitsschwellen gem. § 34 BNatSchG überschritten werden, muss weitergehenden Überprüfungen vorbehalten bleiben.

4.5.3 Beeinträchtigung durch Veränderung der hydro-morphologischen Kennwerte

In der Betriebsphase wird bei den Varianten 1, 2, 4 und 5 für den Bereich oberhalb von Papenburg eine Anhebungen des mittleren Tidehochwassers und damit eine Vergrößerung des

Tidenhubs von bis zu 40 cm prognostiziert. Die Variante 3 dagegen hat eine Anhebung des mittleren Tideniedrigwassers oberhalb des ESW um bis zu 80 cm zur Folge, außerdem wird das Tidevolumen reduziert. Diese Veränderungen werden voraussichtlich Verschiebungen in der Vegetationszonierung oberhalb des ESW auslösen. Beeinträchtigungen sind besonders bei zeitweiser Komplettschließung (Variante 3) nicht ausgeschlossen: Flächenverluste im Eulitoral können die Verringerung vorhandener Wattflächen als Lebensraum und Nahrungshabitat entsprechend angepasster Tiere bedingen, betroffen sind die Schutzgüter Tiere (Brut- und Gastvögel), Lebensraumtypen sowie Boden/Wasser. Bezüglich der Niedrigwasseranhebung ist jedoch zu beachten, dass die enorme Schlickbelastung des Systems an vielen Stellen zu einer übermäßigen und anhaltenden Auflandung und Erhöhung typischer Flusswatten geführt hat, die inzwischen überhaupt nicht mehr der mittleren Tidedynamik unterliegen. Außerdem stellt die Anhebung des mittleren Tide-Niedrigwassers tendenziell frühere natürlichere Verhältnisse wieder her und es ist zu erwarten, dass die verbleibenden Wattflächen aufgrund der verringerten Schlickbelastung eine höhere Qualität als Nahrungs- und Siedlungsraum bieten werden.

Unterhalb des Sperrwerks führt nur die Variante 3 zu einer signifikanten Veränderung des Tideniedrigwassers, das im Mittel um 35 cm abgesenkt wird. Auch hier ist von Lebensraumverschiebungen im Ästuar auszugehen, Flächen des Sublitorals gehen verloren, die Schutzgüter Tiere (Zoobenthos, Fische und Rundmäuler), Lebensraumtypen nach FFH-Richtlinie und Wasser sind betroffen. Die bei allen Varianten beabsichtigte Verlagerung der Trübungszone nach unterstrom bedingt schließlich auch eine Zunahme der Schwebstoffgehalte unterhalb des Emssperrwerkes. Dies entspricht in etwa den Verhältnissen bei hohen Oberwasserabflüssen im Winter und wie sie vor den Ausbaumaßnahmen der 1990er Jahre auch im Sommerhalbjahr vorkommen konnten. Zusammengefasst wird bei keiner Variante davon ausgegangen, dass die mit ihnen verbundenen Änderungen hydro-morphologischer Kennwerte zu einer erheblichen Beeinträchtigung im Sinne der §§ 14 und 34 BNatSchG führen können.

4.5.4 Zusammenfassung und Fazit

Alle sechs vorgelegten Varianten zur Tidesteuerung am Emssperrwerk sind in ihrer Wirksamkeit zur Reduktion der Schlickbelastung in der Unterems grundsätzlich zielführend. Sie streben eine Umstellung des Systems in Richtung naturnäherer Verhältnisse an, wie sie vor 1990 herrschten und sind Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung der Maßnahmen des Integrierten Bewirtschaftungsplans Ems (NLWKN 7 / 2016) wie auch des Masterplan Ems 2050. Auch den im Entwurf vorliegenden Naturschutzgebietsverordnungen „Unterems“ und „Außenems“ stehen die Tidesteuerungsvarianten nicht grundsätzlich entgegen.

Gleichwohl sind die Varianten an anderer Stelle möglicherweise mit erheblichen Beeinträchtigungen von Schutzgütern verbunden. Dies gilt insbesondere für die Varianten 1 und 2. Bei hinsichtlich der Zielsetzung vergleichbarer Effizienz übertrifft der erforderliche Sohlverbau in Flächenmaß und Ausbaugrad alle anderen Varianten hier deutlich. Daher ist für die Varianten 1 und 2 davon auszugehen, dass sie einer nach § 34 BNatSchG zwingend vorgeschriebenen Alternativenprüfung nicht standhalten werden.

Die Varianten 4, 5 und 6 sehen ebenfalls Verbaumaßnahmen an der Sohle vor, allerdings in deutlich geringerer Intensität. Dennoch muss von erheblichen Beeinträchtigungen im Sinne der §§ 14 und 34 BNatSchG ausgegangen werden, wie eventuell auch bezüglich der bei allen Varianten notwendigen zeitweiligen Unterbrechung der ökologischen Durchgängigkeit. Für den Fall eines erforderlichen Abweichungsverfahrens gem. § 34 BNatSchG werden für die Varianten 3, 4, 5 und 6 aber gute Chancen gesehen, die Sicherung des Zusammenhalts des Europäischen Netzes „Natura 2000“ durch geeignete „Kohärenzmaßnahmen“ wieder herzustellen. Diese könnten auch in der im „Masterplan Ems 2050“ vorgesehenen Gebietskulisse zur Neuschaffung von ästuartypischen Lebensräumen oder im Leda-Jümme System verortet werden. Wichtig hierbei ist, möglichst frühzeitig mit der Suche nach Kohärenzmaßnahmen zu beginnen.

Der Bau einer Schleuse mit den zugehörigen Nebenanlagen führt zu (weiteren) erheblichen Beeinträchtigungen gem. §§ 14 und 34 BNatSchG mit den zugehörigen Kohärenz- und Kompensationsmaßnahmen. Die Größenordnung sowie die Größenrelationen der notwendigen Kohärenz- und Kompensationsflächen wären weitaus höher als die reine Sohlsicherung für die Tidesteuerungsvarianten. Ob ein Schleusenbau eine Abweichungsprüfung gem. § 34 BNatSchG standhalten würde, kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht abschließend beurteilt werden. Tendenziell dürfte dies jedoch schwierig werden aufgrund der eigentlich geringen Sperrdauer pro 12 Stunden sowie bezogen auf ein komplettes Jahr, da in der Winterzeit aufgrund hoher Abflüsse weniger geregelt werden muss.

Darüber hinaus ist abwägungsrelevant, dass alle sechs Varianten grundsätzlich darauf ausgerichtet sind, der Unterems als Lebens- und Reproduktionsraum für aquatische Organismen wieder einen Wert zu verleihen, den sie im aktuellen Zustand nicht mehr besitzt.

Schließlich dürften die Varianten im weiteren Planungsprozess, vor allem aber im späteren, von Monitoringprogrammen begleiteten Steuerungsbetrieb des Sperrwerks, ein gutes Optimierungspotenzial besitzen, so dass mögliche Beeinträchtigungen weiter minimiert oder sogar vermieden werden können.

Fazit

Bei den Varianten 3 bis 6 wird derzeit nicht von unüberwindbaren Planungs- bzw. Genehmigungshindernissen ausgegangen, für das derzeit vorliegende Design der Varianten 1 und 2 kann dies jedoch nicht ausgeschlossen werden. Gleiches gilt für den Bau einer Schleuse.

4.6 Wasserwirtschaftliche Verträglichkeit

Die hydrodynamische Modellierung hat ergeben, dass das Tideniedrigwasser durch die Steuerung der Variante „Teilöffnung-NLWKN“ im Abschnitt von Emden bis Herbrum deutlich weniger als 5 cm angehoben wird. Unterhalb von Emden ist keine Änderung der Tideniedrigwasserstände zu erwarten. Von der geringen Veränderung des Tidehochwassers (Absenkung <10cm im Abschnitt Knock bis Papenburg bzw. Anhebung <5 cm oberhalb Papenburg) geht keine negative Beeinflussung der Entwässerung aus.

In der Ems oberhalb des Emssperrwerks bis nach Herbrum, wo der Steuerungsbetrieb tendenziell eine Anhebung des Tideniedrigwassers bewirkt, wird keine negative Beeinflussung der Entwässerung feststellbar sein. In diesem Abschnitt werden derzeit 20 Schöpfwerke und 19 Siele mit einem Einzugsgebiet von über 1.000 km² betrieben. Der Betrieb der Schöpfwerke erfolgt bei höheren Außenwasserständen und ist von der sehr geringfügigen Anhebung der Wasserstände um Tideniedrigwasser nicht betroffen. Auch der Sielbetrieb wird durch die sehr geringe Anhebung des Tideniedrigwassers praktisch nicht beeinträchtigt. Durch die verminderte Verschlickung, die die Tidesteuerung bewirkt, würde die Leistungsfähigkeit der Sieltiefs und Außenmuhden wieder gesteigert werden, so dass sich damit die Entwässerungsbedingungen verbessern. In den tiefer gelegenen Gebieten des Leda-Jümme-Gebietes wird ein Einzugsgebiet von über 580 km² über insgesamt 67 Schöpfwerke und 15 Siele entwässert. In dem weit verzweigten Gewässersystem wird die bereits in der Ems unwesentlich vorhandene Anhebung des Niedrigwassers kaum noch feststellbar sein, wogegen sich auch im Unterlauf der Leda die Verminderung der Verschlickung positiv auf die Entwässerungssituation auswirken wird.

Da der Betrieb der Tidesteuerung saisonal, d.h. in der abflussarmen Jahreszeit betrieben wird, geht von diesem in der übrigen Zeit keine Beeinflussung der Vorflut aus.

Schlussfolgerung

Der Tidesteuerungsbetrieb ist wasserwirtschaftlich verträglich. Zudem birgt dieser in diesem Zusammenhang für die Schutzgüter Mensch, Kultur- und sonstige Sachgüter kein näher zu beleuchtendes Konfliktpotenzial.

4.7 Verkehrliche Verträglichkeit

Die Ziele des Masterplans Ems 2050 sind zum einen die Schaffung und/oder Aufwertung der ästuartypischen Lebensräume und Arten, zum anderen soll die Bundeswasserstraße Ems als leistungsfähiger Verkehrsweg für die Emshäfen sowie für die hafen- und wasserstraßen-affine Wirtschaft erhalten bleiben (siehe Kap. 1.1). Vereinbarungsgemäß wird die verkehrliche Verträglichkeit aller sechs Varianten des Emssperrwerkseinsatzes in der Machbarkeitsuntersuchung der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung ausführlich behandelt.

Zu diesem Zweck wurde ein Gutachten zu den „Auswirkungen einer beweglichen Sohlschwelle auf den Schiffsverkehr und die maritime Hafenwirtschaft“ bei der Firma PLANCO in Auftrag gegeben. In diesem Gutachten ist eine Abschätzung der Auswirkungen der NLWKN Tidesteuerungsvariante auf die Schifffahrt enthalten. Dieses technische Verkehrsgutachten Ems wird in der Machbarkeitsuntersuchung der WSV zusammengefasst und näher erläutert. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Auswirkungen der NLWKN-Variante nahe an denen der 2h-Variante der WSV liegen.

Durch die zeitweise Sperrung der Durchfahrt durch das Emssperrwerk aufgrund der Tidesteuerung kommt es zur Beeinträchtigung der Schifffahrt. Durchschnittlich 2 Seeschiffe und 20 Binnenschiffe fahren täglich auf dieser Strecke. *„Für die weiteren Schiffsklassen können ebenfalls Annahmen getroffen werden. Dies ist aber kaum von Belang, da diese Schiffe / Boote in der Gestaltung ihrer Fahrt wesentlich mehr Freiheiten haben. Fahrgastschiffe beispielsweise können ihren Fahrplan den Gegebenheiten anpassen, was auch in einem Interview der Gutachter von PLANCO mit Betroffenen bestätigt wurde. Dasselbe gilt für Kleinfahrzeuge.“* (WSA Emden)

Um die Beeinträchtigungen im Sinne des Masterplans möglichst gering zu halten, sind Vorkehrungen zu treffen, mit denen die Aufrechterhaltung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs gewährleistet werden können. Zum einen kann sich die Schifffahrt in gewissem Rahmen an die Sperrzeiten anpassen, zum anderen können die Sperrzeiten in gewissem Rahmen an die Erfordernisse der Schifffahrt angepasst werden.

Da die Sperrzeiten überwiegend im Flutast liegen, sind im Wesentlichen die Bergfahrer betroffen. So könnten einerseits Binnenschiffe, die rechtzeitig vor Schließung bei Tideniedrigwasser das Sperrwerk passiert haben, ihre Fahrt zu Berg wie bisher mit dem Flutstrom durchführen. Andererseits können angepasste kürzere Sperrzeiten in den für die Schifffahrt attraktiven Tiden ermöglichen, dass Seeschiffe die Häfen Leer und Papenburg mit dem Tidescheitel anlaufen können und Binnenschiffe ein weiteres Zeitfenster für die Fahrt nach Herbrum haben.

Um Wartezeiten am Sperrwerk zu minimieren ist es wichtig, dass die Schiffe zum richtigen Zeitpunkt das Sperrwerk erreichen. Für Schiffe, deren Fahrt im Emsrevier beginnt, sollte dies planbar sein. Seeschiffe, die aus der Nordsee kommen sollten ggf. über verkehrslenkende Maßnahmen zum richtigen Zeitpunkt an das Sperrwerk herangeführt werden.

Bei besonderem Verkehrsaufkommen ist es denkbar, dass die Sperrzeiten für eine Tide aufgehoben werden, um besondere Beeinträchtigungen zu vermeiden. Bei hohen Oberwasserabflüssen in den Wintermonaten kann die flexible Tidesteuerung (Sperrung) über längere Zeiträume ausgesetzt werden. Die Schifffahrt hat dann wieder freie Fahrt.

Die Durchführung von Staufällen zur Überführung großer Werftschiffe fanden in den vergangenen Jahren überwiegend in den Monaten März und September statt. Durch den vorgesehenen saisonalen Betrieb der Tidesteuerung sowie der flexiblen Betriebsweise, sind diese auch künftig problemlos durchführbar.

Geht man davon aus, dass die flexible Tidesteuerung die Wirkung entfaltet, wie laut der oben zitierten gutachterlichen Aussagen (FTZ Kiel, BAW, FSK des NLWKN) zu erwarten ist, besteht durchaus die Möglichkeit die Sperrzeiten im Sinne einer Minimierung der Beeinträchtigung der Schifffahrt zu optimieren. Gesetzt den Fall, dass man mit der flexiblen Tidesteuerung zu einem Zeitpunkt beginnt an dem der Flüssigschlick aus der Unterems durch hohe Oberwasserabflüsse ausgeräumt ist, ist jede Steuerungsvariante ausreichend, die gerade noch verhindert, dass Schwebstoffe in die Unterems eingetragen werden. Eine Variante mit kräftigerer Wirkung („Ausräumeffekt“) hätte dann wenig Vorteile.

Festzuhalten ist: Es gibt Möglichkeiten die Sperrwerkssteuerung so zu optimieren, dass die Beeinträchtigung der Schifffahrt reduziert wird. Wie diese konkret aussehen sollte, bleibt den weiteren Ergebnissen der Untersuchungen vorbehalten.

Die weiteren Fragen zu den Erfordernissen für die Schifffahrt werden in der Machbarkeitsuntersuchung der WSV behandelt. Zum Beispiel werden Anzahl und Kosten der Liegestellen im Umfeld des Sperrwerks sowie die ggf. erforderlichen Maßnahmen zur Verkehrssicherung und -lenkung dort behandelt und bewertet.

Bezüglich der **verkehrlichen Verträglichkeit** kommt die WSV auf Grundlage des PLANCO Gutachtens zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Die Schifffahrt wird je nach betrachtetem Steuerungsszenarium und Nutzer (See-, Binnen-, Freizeitschifffahrt) unterschiedlich stark beeinträchtigt.
- Eine Verlagerung von Verkehren findet voraussichtlich nicht statt.
- Es sind Maßnahmen zur Verkehrssicherung und -lenkung erforderlich.
- Im Umfeld des Sperrwerkes müssen Liegestellen für See- und Binnenschiffe errichtet werden.
- Das Vorhaben ist flexibel und kann in begrenztem Umfang an die Erfordernisse der Schifffahrt angepasst oder, falls erforderlich, zeitweise ausgesetzt werden.
- Weitere Möglichkeiten zur Verminderung von Verkehrsbeeinträchtigungen sind gegeben.

- Weniger Schlickfall begünstigt evtl. die Fahrwasserverhältnisse (Vorhafen Schleuse Herbrum).
- Es sind noch Untersuchungen zur nautischen Befahrbarkeit des Sperrwerkes bei veränderter Strömung sowie zur Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs bei Nutzung der geplanten Liegestellen (An- und Ablegen) erforderlich.

Die Tidesteuerung und die flexible Sohlschwelle beeinträchtigen die Schifffahrt je nach Steuerungsszenario und Nutzer in unterschiedlichem Maße.

Über das Ob und Wie von „Ausgleichmaßnahmen“, die zum Teil zwingend sein werden, müssen weitere Untersuchungen Aufschluss liefern (im Rahmen der weiteren Maßnahmenplanung).

4.8 Verträglichkeit mit anderen Maßnahmen des „Masterplan Ems 2050“

In Artikel 1 des „Masterplans Ems 2050“ sind grundsätzliche Ziele genannt, die nur durch eine Kombination verschiedener Maßnahmen erreicht werden können. Dieses wird auch durch den „Integrierte Bewirtschaftungsplan Ems“ und den „Internationalen Bewirtschaftungsplan nach Artikel 13 der Wasserrahmenlinie für die Flussgebietseinheit Ems“ untermauert.

„Ziel des ‚Masterplans Ems 2050‘ ist die nachhaltige Entwicklung und Optimierung des Ems-Ästuars im Hinblick auf die Natürlichkeit, Sicherheit und Zugänglichkeit. Ökologische und ökonomische Interessen sind dafür in Einklang zu bringen. Dazu gehören sowohl die Wiederherstellung, Erhalt und Entwicklung eines intakten und dynamischen Ökosystems (...).

Dieses bedeutet insbesondere:

- *die vorrangige Lösung des Schlickproblems in der Unterems,*
- *die Verbesserung des Gewässerzustandes in der Tideems mit dem Ziel, günstige Erhaltungszustände im Sinne der entsprechenden Richtlinien zu erreichen:*
 - *Reduzierung des stromaufwärts gerichteten Feststofftransportes*
 - *Verbesserung der Gewässerökologie (Gewässergüte, bessere Lebensbedingungen für die Gewässerfauna und -flora),*
- *die Schaffung und/oder Aufwertung der ästuartypischen Lebensräume und Arten mit dem Ziel, günstige Erhaltungszustände im Sinne der entsprechenden Richtlinien zu erreichen (...).* [Masterplan Ems 2050, Artikel 1]

In Artikel 13 des Masterplans sind weitere konkrete Maßnahmen und Konzepte festgelegt, und zwar zusätzlich zu den wasserbaulichen Maßnahmen, zu denen auch die Tidesteuerung gehört. Der abgestimmte Integrierte Bewirtschaftungsplan (IBP) stellt dafür eine gutachterliche Grundlage dar. Zu den zusätzlichen Maßnahmen gehört die Schaffung ästuartypischer Gewässerlebensräume im Tidebereich, und zwar nach deutlicher Reduzierung der Schlickbelastung in der Ems [Masterplan Ems 2050, Art. 13 Pkt. (2)/1]. In diesem Zusammenhang ist auch

die Schaffung autotypischer Lebensräume im Bereich der Emsschleife bei Coldemüntje und bei Stapelmoor festgeschrieben, die als erste konkrete Maßnahme zeitnah umgesetzt werden. Zudem wird die Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit an Sieltiefs und Schöpfwerken, sowie das Revitalisieren von Mäandern und Nebenrinnen, der Rückbau von Uferbefestigungen und die Öffnung bzw. der Rückbau von Sommerdeichen und Verwallungen festgelegt (Art. 12 und Anlage zu Art. 13).

Die Reduzierung des Feststoffeintrags in die Unterems mithilfe der Tidesteuerung ist eine wesentliche Voraussetzung für die optimale Wirksamkeit der vorgenannten Maßnahmen.

Auch der „Integrierte Bewirtschaftungsplan Emsästuar“ konstatiert, dass eine Lösung des Schlickproblems vorrangig erforderlich ist, da ansonsten viele weitere Maßnahmen nicht umsetzbar sind.

Der „Internationale Bewirtschaftungsplan nach Artikel 13 der Wasserrahmenlinie für die Flussgebietseinheit Ems“ beschreibt die Notwendigkeit der Reduzierung des Feststoffeintrags: *„Die Sohle und die Uferbereiche sind über weite Strecken stark verschlickt und sind von Flora und Fauna kaum besiedelbar. Die Folgen der Trübungsproblematik, z. B. die zunehmende auftretende Verschlickung der Sohl- und Uferbereiche, der Lichtmangel und die Sauerstoffdefizite, wirken sich auf alle biologischen Qualitätskomponenten negativ aus, was insgesamt zur Verfehlung des guten ökologischen Potenzials in den Übergangsgewässern der Ems führt. (...) Ebenfalls haben die sehr hohen Schwebstoffgehalte in der Tideems einen sehr deutlichen Einfluss auf die gemessenen Schad- und Nährstoffe.“* In diesem Zusammenhang wird die optimale Tidesteuerung zur Verringerung der Schwebstofffrachten und des Sedimentationsvolumens in der Unterems als mögliche Maßnahme genannt [FGG Ems 2015].

In der „Einschätzung möglicher Umweltauswirkungen von Varianten der Tidesteuerung am Emssperrwerk“ (Anlage 3) ist der Einfluss der Tidesteuerungsvarianten auf Verbesserungsmaßnahmen in Kapitel 5.4. untersucht:

Im Rahmen einer Prüfung nach § 34 BNatSchG ist es erforderlich zu bewerten, ob durch die Tidesteuerungsvarianten zukünftige Verbesserungsmaßnahmen / Wiederherstellungsmaßnahmen / Erhaltungsmaßnahmen des Emssystems ver- bzw. behindert werden. Eine solche Prüfung ist umso notwendiger, je schlechter die Erhaltungszustände der wertgebenden Lebensraumtypen und Arten sind. Die genauen Einstufungen der Erhaltungszustände sind dem IBP Ems, Fachbeitrag Natura, (NLWKN 7/ 2016) zu entnehmen. Nahezu alle mit dem Ästuar Ems über den Wasserpfad gem. FFH-Richtlinie geschützten Lebensräume und Arten befinden sich in einem sehr schlechten Zustand (Wertstufe C). Bei den Vögeln ist die Situation zwar auch nicht optimal, jedoch weitaus besser zu beurteilen.

In den nachfolgenden Werken sind Verbesserungsmaßnahmen aufgeführt, die überschlägig überprüft wurden:

IBP Ems

Im IBP Ems (Tabelle 9) sind abschließend 51 Maßnahmen aufgeführt, die mehr oder weniger den schlechten Erhaltungszustand verbessern oder wiederherstellen sollen. Hierbei gibt es viele Gemeinsamkeiten zwischen den Natura 2000 Richtlinien sowie der Wasserrahmenrichtlinie. Wie nicht anders zu erwarten ist, stellte auch der IBP Ems klar die Hauptproblematik der Ems dar: Tideasymetrie / Schwebstoffe / Trübung / Sauerstoffdefizite. Grundvoraussetzung zur Erreichung eines günstigen Erhaltungszustands ist die Lösung der Tideasymetrie sowie des Schlickproblems.

Einzig die Tatsache, dass durch die Tidesteuerungsvarianten des Emssperrwerks die Durchgängigkeit herabgesetzt wird und dass die Gewässersohle naturfern durch den Sohlverbau auf großer Fläche befestigt werden soll, spricht tendenziell gegen einige wenige Maßnahmen des IBP. Der größte Teil der Maßnahmen des IBP Ems kann ohne weiteres umgesetzt werden bzw. ist auf die Reduktion der Schwebstoffgehalte und der Erhöhung der Sauerstoffgehalte direkt angewiesen. Es sollten auch vor diesem Hintergrund Tidesteuerungsvarianten gewählt werden, die den besten Erfolg bezogen auf Schwebstoffe erwarten lassen, die geringste Beeinflussung der Durchgängigkeit und die geringsten Umgestaltungsmaßnahmen am Emssperrwerk nach sich ziehen, also nach jetzigem Kenntnisstand die Varianten 3 bis 6.

Masterplan Ems 2050

In Artikel 10, 11, 12 und 13 (incl. der Anlage) sind verschiedene Konzepte und konkrete Maßnahmen aufgeführt. Keine dieser benannten Maßnahmen werden durch die Tidesteuerungsvarianten ver- bzw. behindert. Ähnlich wie im IBP Ems ist die Lösung der Schwebstoffproblematik Grundvoraussetzung für die Umsetzung einer Vielzahl der Einzelmaßnahmen.

NSG Verordnungen „Unterems“ und „Außenems“

Die geplanten NSG Verordnungen liegen im Entwurf vor. Insbesondere die Verordnung zur Unterems betrifft die geplanten Tidesteuerungsvarianten, da das Emssperrwerk sowie die Bereiche mit den prognostizierten Auswirkungen im Gebiet liegen. Die Verordnung nimmt im § 8 Bezug auf Erhaltungs- und Wiederherstellungsmaßnahmen und verweist auf bestehende Fachpläne sowie auf den Masterplan Ems. Vor diesem Hintergrund bestehen demnach keine Probleme mit den Tidesteuerungsvarianten. Im § 4 (Freistellungen) der Verordnung sind im Absatz 8 geplante Maßnahmen am Emssperrwerk freigestellt, die mithelfen sollen, Sediment- und Gewässergüteprobleme zu lösen unter der Voraussetzung des § 34 BNatSchG. Durch den Sohlverbau und durch den Bau einer Schleuse wird es, wie schon erwähnt, aller Wahrscheinlichkeit nach zu erheblichen Beeinträchtigungen im Sinne von § 34 BNatSchG kommen, die abzarbeiten bzw. zu lösen sind. Trotz allem ist die Erwähnung der Maßnahmen in der Verordnung natürlich ein wichtiger Hinweis auf die dringende Lösung der enormen Sedimentprobleme.

Schlussfolgerung

Die Tidesteuerung ist Voraussetzung für die optimale Wirksamkeit von vielen Maßnahmen. Eine Verträglichkeit der Tidesteuerung mit anderen Maßnahmen des „Masterplan Ems 2050“ ist gegeben.

4.9 Widerstandsfähigkeit der Maßnahme gegen Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs

Unter einem beschleunigenden Anstieg des Meeresspiegels ist von einer, möglicherweise temporären Zunahme, der Wassertiefen und damit einhergehend des Tidehubs/Tidevolumens in der Ems auszugehen. Die hierbei nicht abschließend zu klärende Frage ist, inwiefern der Nachschub von seewärts einzutragendem Sediment ausreichend ist, um ein unmittelbares oder verzögertes Mitwachsen der Sohle und Vorländer zu ermöglichen. Auch würde unter diesen Aspekten die Unterhaltungsstrategie hinsichtlich der vorzuhaltenden Tiefen angepasst werden müssen.

Schlussfolgerung

Die Maßnahme Tidesteuerung mit Hilfe des Emssperrwerks ist hinsichtlich der vorstehend beschriebenen Prozesse ausgesprochen flexibel. Da die Drosselwirkung in Relation zum Tidevolumen nahezu beliebig angepasst werden kann, ist die Widerstandsfähigkeit gegen Auswirkungen des Meeresspiegelanstieges vollständig gegeben.

4.10 Anpassungsfähigkeit und Nachsteuerungsmöglichkeit der Maßnahme

Aufgrund der Flexibilität des Tidesteuerungsbetriebs kann dieser an veränderte Randbedingungen angepasst werden. Gleiches gilt für die Nachsteuerungsmöglichkeit der Maßnahme, deren Untersuchung zentraler Bestandteil der angestrebten fortwährenden Optimierung des Tidesteuerungsbetriebes entsprechend der Ziele des Masterplans ist.

4.11 Planungs-/Genehmigungsverfahren und -dauer und der Umsetzung

Zur Umsetzung der ‚flexiblen Tidesteuerung‘ muss die Sohlsicherung am Emssperrwerk erweitert und der Betriebsplan geändert werden. Darüber hinaus sind voraussichtlich Schiffsliegeplätze im Bereich des Emssperrwerks zu errichten und ggf. weitere Minimierungsmaßnahmen für die Schifffahrt umzusetzen.

Die Dauer des dafür erforderlichen Planfeststellungsverfahrens gemäß § 74 VwVfG hängt entscheidend vom Antragsgegenstand, von der Aussagekraft der Antragsunterlagen und von der Anzahl und der Qualität der Einwendungen und deren Beilegung ab.

Vor diesem Hintergrund wird eine geschätzte Verfahrensdauer von 2-4 Jahren als realistisch angesehen. Diese Schätzung bezieht sich ab Eingang eines vollständigen Antrags. Unberücksichtigt geblieben ist hierbei der Zeitaufwand für die Erstellung der Antragsunterlagen und Gutachten, die insbesondere für die Änderung des Betriebsplanes sehr anspruchsvoll sein werden, da der Sedimenthaushalt der Ems tiefgreifend verändert werden soll.

Voraussetzung für den Beginn der Planungen und die Einleitung eines Planfeststellungsverfahrens ist eine gesicherte Finanzierung des Gesamtprojekts.

Für den Bau der zusätzlichen Sohlsicherung wird nach Vorliegen der Genehmigung ein Zeitbedarf von etwa einem Jahr angesetzt. Inwieweit die Errichtung von erforderlichen Schiffs Liegeplätzen und ggf. weitere erforderliche Maßnahmen für die Schifffahrt in diesen Zeitraum integriert werden können, ist zu prüfen.

4.12 Überschlägiger Kostenrahmen

Der Betrieb der Variante „Teilöffnung – NLWKN“ ist nach derzeitiger Erkenntnis mit dem bereits bestehenden Emssperrwerk machbar. Bei der Anpassung des Betriebs an die Tidesteuerung fallen voraussichtlich folgende Kosten an:

Personalkosten

Zusätzlich zu dem bislang eingesetzten Personal, sind 8 Personen (4 x 2 Personen mittlerer Dienst; 3-Schichtbetrieb) für den Tidesteuerungsbetrieb notwendig.

4 x 2 Personen mittlerer Dienst **750.000 €/a**

Wartungs- und Reparaturkosten

Aufgrund der deutlich höheren Inanspruchnahme des Emssperrwerks wird mit einem erhöhtem Wartungs- und Reparaturaufwand zu rechnen sein.

Wartung/Reparatur **750.000 €/a**

Stromverbrauch

Bei einer angenommenen Tidesteuerung pro Jahr an 160 Tagen (saisonaler Betrieb) x 2 Tiden x 2 Torbewegungen, wird der Stromverbrauch gegenüber dem der heutigen Betriebsweise ansteigen.

Strom (160 Tage x 2 Tiden x 2 Torbewegungen) **400.000 €/a**

Kosten für die zusätzliche Sohlsicherung

Um auch bei einem längerfristigen Steuerungsbetrieb Auskolkungen zu vermeiden, ist die Erweiterung der bestehenden Sohlsicherung erforderlich [IGB 2016]. Neben den Kosten für die Baustelleneinrichtung, die Herstellung des Planums, sowie für die Lieferung und den Einbau der Schüttsteine wird ein üblicher Anteil zur Abdeckung von Unwägbarkeiten, sowie zur Rundung des Betrags berücksichtigt. Planungskosten im Rahmen der Sohlsicherung sind gesondert aufgeführt (siehe Pkt. Planungskosten).

Tabelle 5 Kostenschätzung der zusätzlichen Sohlsicherung am Emssperrwerk

| Pos. | Beschreibung | Gesamtbetrag [€] |
|----------------------|---------------------------------------|-------------------|
| 1 | Baustelleinrichtung | 797.000 |
| 2 | Herstellen des Planums | 6.279.000 |
| 3 | Lieferung und Einbau der Schüttsteine | 10.304.000 |
| 3 | Unwägbarkeiten | 500.000 |
| 4 | Zur Rundung | 120.000 |
| Zwischensumme | | 18.000.000 |
| MwSt (19%) | | 3.420.000 |
| Gesamtsumme | | 21.420.000 |

Planungs- /Ausführungskosten

Für die hier vorgestellte Sohlsicherung fallen gem. HOAI-Berechnung Planungs- und Ausführungskosten für Ingenieurleistungen der Leistungsphasen 1 – 9 inkl. 3 % Nebenkosten an:

1.400.000 €

Hinzu kommen Kosten für Vermessung, Bemessung der Sohlsicherung und Gutachten:

100.000 €

Kosten für Planfeststellung

Der Betriebsplan zum Emssperrwerk ist im Rahmen des durchzuführenden Planfeststellungsverfahrens zu überarbeiten und anzupassen. Die Betroffenheit, die Art und der Umfang der auszulegenden Unterlagen, die Durchführung des Erörterungstermins sowie weitere Anforderungen der Planfeststellungsbehörde stehen noch nicht fest, so dass sich der Umfang zur Durchführung der Planfeststellung zurzeit nur grob abschätzen lässt.

300.000 €

Kompensation

Der Umfang der Kompensation ist abhängig von der durch die Sohlsicherung überbauten Fläche sowie Kompensation für weitere Eingriffe in die Natur und Umwelt. Dieses wird dem Planfeststellungsverfahren vorbehalten sein. Als Schätzung wird vorerst ausgegangen von

10.000.000€

Monitoring

Zur Feststellung der tatsächlichen Auswirkungen der Maßnahme ist ein entsprechendes Monitoring vorzusehen. Die Kosten dafür lassen sich derzeit noch schwer ermitteln. Überschlägisch wurden dafür die „Rundungssummen“ in die Zusammenstellung eingetragen.

210.000€ / 100.000€

Zusammenfassung

Weitere zurzeit nicht abschätzbare Punkte werden sowohl bei den einmaligen wie auch variablen Kosten durch „Rundungsbeträge“ erfasst. Hinsichtlich der Kosten im Rahmen der „verkehrlichen Verträglichkeit“ (Anlage von Liegeplätzen, Verkehrssicherung, -lenkung), die hier nicht aufgeführt sind, wird auf die Machbarkeitsuntersuchung der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung verwiesen.

Tabelle 6 Zusammenstellung der überschläglichen Kosten

| Pos. | Beschreibung | Einmalige Kosten [€] | Variable Kosten [€/a] |
|------|---|-------------------------|--------------------------|
| 1 | Personal | -- | 750.000 |
| 2 | Betriebskosten | -- | 1.150.000 |
| 3 | Sohlsicherung | 21.420.000 | -- |
| 4 | Planungskosten | 1.500.000 | -- |
| 5 | Planfeststellung | 300.000 | -- |
| 6 | Kompensation | 10.000.000 | -- |
| 7 | Monitoring / Sonstiges (zur Rundung) | 280.000 | 100.000 |
| | Gesamtsumme | 33.500.000 | 2.000.000 |

5 Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1 (Gutachten Kolkenschutz)

Gutachtliche Stellungnahme zur Frage der Sohlensicherung und Kolkbildung am Emssperrwerk bei Betriebsfällen zur Tidebeeinflussung; Zanke und Partner, Garbsen Januar 2016

Anlage 2 (Gutachten Erweiterung Sohlensicherung)

Sicherung der Gewässersohle in der Betriebssteuerungsvariante 4b zur Tidebeeinflussung - Vorplanung der Sohlensicherung; IGB Ingenieurgesellschaft, Projektnummer 16-1008; Hamburg Dezember 2016

Anmerkung zum Titel der Anlage 2: Im Gutachten zur Sohlensicherung und Kolkbildung (Anlage 1), das die Grundlage für Anlage 2 ist, wurde eine Vielzahl möglicher Steuerungsvarianten untersucht und eine optimale Betriebsart entwickelt. Bezüglich der im Gutachten zugrunde gelegten Randbedingungen war die Steuerung gemäß „Teilöffnung-NLWKN“ die beste Variante, die während dieser Bearbeitung den Arbeitstitel „Betriebssteuerungsvariante 4b“ trug.

Anlage 3 (Einschätzung möglicher Umweltauswirkungen)

Einschätzung möglicher Umweltauswirkungen von Maßnahmen zur Tide-Steuerung am Emssperrwerk - gem. Art. 10 Abs. 8 Masterplan Ems 2050; Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (Betriebsstelle Brake- Oldenburg); Dezember 2016

Anlage 4 (Modelluntersuchungen Tidesteuerung)

Dennis Oberrecht, Benjamin Franz & Andreas Wurpts (2016): Hydro- und morphodynamische Auswirkungen eines Tidesteuerungsbetriebes mit dem Emssperrwerk - Kurzanalyse im Rahmen der Machbarkeitsstudie zum Masterplan Ems 2050; NLWKN Betriebsstelle Norden-Norderney - Forschungsstelle Küste-

Anlage (Verkehrsgutachten) – siehe Machbarkeitsuntersuchung des WSA Emden

Hinsichtlich der Auswirkungen einer flexiblen Tidesteuerung auf den Schiffsverkehr und auf die maritime Hafenwirtschaft wird auf das von der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung betreute und in Auftrag gegebene Gutachten verwiesen: Auswirkungen einer beweglichen Sohlenschwelle auf den Schiffsverkehr und die maritime Hafenwirtschaft – Endbericht; PLANCO Consulting GmbH, Essen Dezember 2016

Dieses Gutachten befindet sich als Anhang an die vom Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Emden verfasste Machbarkeitsuntersuchung

6 Literaturverzeichnis

ARENS (1952) Über den Emsausbau; Skript zum Vortrag am 04.03.1952 in Leer

AQUA VISION (2010a) H-ADCP measurements for the „Naturversuch Emssperrwerk“ , Aqua Vision BV im Auftrage des WSA Emden; NL Utrecht Januar 2010

AQUA VISION (2010b) H-ADCP measurements for the „Naturversuch Emssperrwerk“ – Phase II, Aqua Vision BV im Auftrage des WSA Emden; NL Utrecht November 2010

AQUA VISION (2011) Suspended sediment measurements at the Emssperrwerk - July 2010, Aqua Vision BV im Auftrage des WSA Emden; NL Utrecht März 2011

BAW (2016) Ergebnisbericht über die Wirkung einer dauerhaften und flexiblen Sohlschwelle und eines um Tideniedrigwasser geschlossenen Emssperrwerks; Bundesanstalt für Wasserbau, Bericht B3955.03.12.10234; Hamburg April 2016

BAW (2016) Ergänzende Untersuchungen zum Ergebnisbericht der BAW vom April 2016; Bundesanstalt für Wasserbau, Ergänzung zum Bericht B3955.03.12.10234; Hamburg Dezember 2016

BfG (2010) Einsatz des Emssperrwerkes zur Reduzierung des Schwebstoffeintrages in die Unterems - Naturmessprogramm der BfG zum Probetrieb im September 2009; Bericht 1664 der Bundesanstalt für Gewässerkunde; Koblenz April 2011

BfG (2011) Einsatz des Emssperrwerkes zur Reduzierung des Schwebstoffeintrages in die Unterems - Naturmessprogramm der BfG zur zweiten Versuchsphase im Juli/August 2010; Bericht 1718 der Bundesanstalt für Gewässerkunde; Koblenz April 2011

Bos, D., Büttger, H., Esselink, P., Jager, Z., de Jonge, V., Kruckenberg, H., van Maren, B., & B. Schuchardt (2012) Der ökologische Zustand des Emsästuars und Möglichkeiten der Sanierung. A&W rapport 1759. Programma Naar Een Rijke Waddenzee/Altenburg & Wymenga, Leeuwarden/Veenwouden.

CLEVERINGA, J. (2008) Ontwikkeling sedimentvolumen Eems-Dollard en het Groninger Wad; Overzicht van de beschikbare kennis en gegevens, Alkyon rapport A2269r1R3

DETTE, H.H.; RAUDKIVI, A.; TRAMPENAU, T.; MAGNERE-WEND, N. (1994) Anpassung des Emsfahrwassers an ein 7,30 m tiefgehendes Schiff – Beurteilung der Auswirkungen aus Sicht der Hydrologie; Bericht Nr. 770; Leichtweiß-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig

DE JONGE, V.N. (1983) Relations between annual dredging activities, suspended matter concentrations, and the development of the tidal regime in the Ems Estuary; Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences

DE JONGE, V.N.; SCHUTTELAARS, M.; VAN BEUSEKOM, J.; TALKE, S.; DE SWART, H. (2014) The influence of channel deepening on estuarine turbidity levels and dynamics, as exemplified by Ems estuary; in Estuarine, Coastal and Shelf Science 139

DE VRIEND, H. (2010) Turbidity increase in deepened estuaries – mechanisms and countermeasures; Vortrag auf der WWF-Konferenz am 13.12.2010 in Emden

DONNER, M.; LADAGE, F.; STOCHECK, O. (2013) "Perspektive Lebendige Unterems": Wasserbauliche Analysen von Renaturierungsmöglichkeiten für das Schlick- und Sauerstoffproblem in der Unterems; Vortrag auf der Konferenz zur „Renaturierung Europäischer Ästuar: Möglichkeiten, Planungen und Umsetzung“ am 22.02.2013 im MARIKO Leer

DONNER, M.; STOCHEK, O. (2014) Simulation of high suspended sediment concentrations and options for a reduction in the Lower Ems; DIE KÜSTE Heft 81

ENGELS, A. (2007) Seasonal and tidal variation of oxygen and salinity in the river Ems; Vortrag Ems-Workshop 23.2.2007 in Emden

ENGELS, A. (2009) Saison- und tidebedingte Variation von Sauerstoff und Salzgehalt in der Ems zwischen Knock und Herbrum; Deutsche Gesellschaft für Limnologie; Tagungsband 2009

ENGELS, A. (2011a) Einfluss der Soleeinleitung bei Ditzum auf den Salzgehalt der Unterems; NLWKN Betriebsstelle Aurich, unveröffentlicht

ENGELS, A. (2011b) Änderung des Verhältnisses von Fall- zu Steigdauer als Ausdruck der Asymmetrie und Dynamik der Tide der Ems zwischen Herbrum und Emden 1950 bis 2009 – Ein Überblick; NLWKN Betriebsstelle Aurich, unveröffentlicht

ENGELS, A. (2012) Entwicklung der Tidehochwasserstände in der Unterems und dessen Auswirkung auf die Überflutungshäufigkeiten des Vorlandes am Beispiel Papenburg; NLWKN Betriebsstelle Aurich, unveröffentlicht

ENGELS, A. (2015) Salinity in the Lower Ems River - description of recent developments; Vortrag auf dem Ems-Scheldt Workshop am 12. /13.02.2015 in Delmenhorst

ENGELS, A. (2016) Veränderungen der Gewässergüte in der Unterems - Masterplan Ems 2050; Nachrichten des Marschenrates zur Förderung der Forschung im Küstengebiet der Nordsee, Heft 53 (S. 62-83), Wilhelmshaven Frühjahr 2016

FGG Ems (2015) INTERNATIONALER BEWIRTSCHAFTUNGSPLAN NACH ARTIKEL 13 WASSERRAHMEN-RICHTLINIE FÜR DIE FLUSSGEBIETSEINHEIT EMS BEWIRTSCHAFTUNGSZEITRAUM 2015 – 2021; Geschäftsstelle der Flussgebietsgemeinschaft Ems (FGG Ems) beim NLWKN Bst. Meppen; Meppen Dezember 2015

FRANZIUS-INSTITUT (2010) ADCP-Strömungsmessungen während des Probebetriebs des Emssperrwerks vom 14.09.2009 – 17.09.2009, Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Leibniz Universität Hannover, im Auftrag des NLWKN, Bericht 711; Hannover Januar 2010

FRANZIUS-INSTITUT (2013a) Wissenschaftliche Begleitstudie zum Tidesteuerungsbetrieb des Emssperrwerks; Teil 1: ADCP-Strömungsmessungen und Multisondenmessungen; Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Leibniz Universität Hannover, im Auftrag des NLWKN, Bericht 728; Hannover November 2012

FRANZIUS-INSTITUT (2013b) Wissenschaftliche Begleitstudie zum Tidesteuerungsbetrieb des Emssperrwerks; Teil 2: Turbulenzmessungen; Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Leibniz Universität Hannover, Bericht 733; Hannover September 2013

FRANZIUS, O. (1986) Probleme mit Schwebstoffen in der Brackwasserzone des Tideflusses Ems; Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nordwest, Aurich

HEINZELMANN, C. und HEYER, H. (2006) Morphodynamische Untersuchungen - Verbesserung der Unterhaltungssituation an der Tideems; HANSA International Maritime Journal – 143. Jahrgang Nr. 5

HERRLING, G. und NIEMEYER, H.D. (2008) Comparison of the hydrodynamic regime of 1937 and 2005 in the Ems-Dollard estuary by applying mathematical modeling, Präsentation zum Projekt HARBASINS auf dem Emsworkshop am 14. und 15.2.2008 in Emden

IGB (2016) Sicherung der Gewässersohle in der Betriebssteuerungsvariante 4b zur Tidebeeinflussung - Vorplanung der Sohlsicherung; IGB Ingenieurgesellschaft, Projektnummer 16-1008; Hamburg Dezember 2016

IBP (2015) Integrierter Bewirtschaftungsplan für Niedersachsen und die Niederlande.- Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Rijksoverheid & Provincie Groningen; Entwurfsfassung April 2015

JENSEN, J., FRANK, T., WAHL, T. (2011) Analyse von hochaufgelösten Tidewasserständen und Ermittlung des Mean Sea Level (MSL) an der deutschen Nordseeküste (AMSeL); Die Küste Heft Nr. 78

KREBS, M. und WEILBEER, H. (2008) Ems-Dollart Estuary; Die Küste Heft Nr. 74

LAMBRECHT, H. † & TRAUTNER, J. (2007) Fachinformationssystem und Fachkonventionen zur Bestimmung der Erheblichkeit im Rahmen der FFH-VP – Endbericht zum Teil Fachkonventionen, Schlussstand Juni 2007. – FuE-Vorhaben im Rahmen des Umweltforschungsplanes des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz – FKZ 804 82 004 [unter Mitarb. Von K. KOCKELKE, R. STEINER, R. BRINKMANN, D. BERNOTAT, E. GASSNER & G. KAULE]. – Hannover, Filderstadt.

LBEG (2009) Gehobene wasserrechtliche Erlaubnis – Einleitung von Sole in die Ems bei Rysum für die Errichtung und den Betrieb von Gaskavernenspeicher in Jemgum der WINGAS und EWE; 14.07.2009; Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Clausthal-Zellerfeld

LBEG (2010) Zur wasserrechtlichen Erlaubnis der EWE AG für die Einleitung von Sole aus dem Gaskavernenspeicher Nüttermoor in die Ems bei Rysum, 10. Nachtrag, 20.07.2010; Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Clausthal-Zellerfeld

MALCHEREK, A. (2010) Gezeiten und Wellen – Die Hydromechanik der Küstengewässer; Verlag Vieweg und Teubner

MEIER, S. (1999) Untersuchungen zur Hydrologie der Ems unter Berücksichtigung der anthropogenen Systemänderungen, Diplomarbeit Uni Gesamthochschule Siegen; sowie Stellungnahme des Wasser- und Schifffahrtsamtes Emden vom 26.8.1999

MEYER, H. (2004) Sedimentationsverhalten und Baggermengenentwicklung in der Seeschiffahrtsstraße Ems und Weser nach den Ausbaumaßnahmen; 13. Chemisches Kolloquium am 22.06.2004 in Koblenz

NDS MU (2015a) Fragen und Antworten zum Masterplan Ems; Niedersächsisches Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz; Informationen unter [www.umwelt.niedersachsen.de/\(...\)](http://www.umwelt.niedersachsen.de/(...)); \Themen\Wasser\Masterplan; Zugriff 03.12.2015

NDS MU (2015b) Vertrag und Anlagen zum Masterplan Ems 2050; Niedersächsisches Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz; Informationen unter [www.umwelt.niedersachsen.de/\(...\)](http://www.umwelt.niedersachsen.de/(...)); \Aktuelles\Pressemitteilungen; Artikel vom 27.01.2015; Zugriff 03.12.2015

NDS STK (2014) Landesregierung erreicht konstruktive Zusammenarbeit für die Ems: „Masterplan“ soll Region als funktionierenden Natur-, Wirtschafts- und Lebensraum sichern; Presseinformation der Niedersächsischen Staatskanzlei unter [www.stk.niedersachsen.de/\(...\)](http://www.stk.niedersachsen.de/(...)); \Aktuelles\Presseinformation; Artikel vom 16.04.2014; Zugriff 03.12.2015

NLWKN (2003) Emssperrwerk Gandersum - Sommerstau am 11. und 12.07.03 mit Überführung der SERENADE of the SEAS - Auswertung der gewässerkundlichen Daten; NLWKN Betriebsstelle Aurich

NLWKN & WSV (2010) Schwebstoffreduzierung in der Unterems durch Tidesteuerung des Emssperrwerks – Auswertung der Versuchsphase I vom 14. Bis 19. September 2009; NLWKN Betriebsstelle Aurich in Kooperation mit dem Wasser- und Schifffahrtsamt Emden; Aurich und Emden Juni 2010

NLWKN (2011) Reduzierung des Schwebstofftransportes in der Unterems zwischen Gandersum und Herbrum durch Einsatz des Emssperrwerks - Bewertung der Wirkung auf die Gewässergüte anhand der Messstationen Terborg, Leerort, Weener und Papenburg, sowie Bewertung der Schwebstofflängsmessungen des NLWKN vom 04., 05. und 09.08.2010; NLWKN Betriebsstelle Aurich; Juni 2011

NLWKN (2015a) Emssperrwerk Gandersum Überführung der QUANTUM of the SEAS von Papenburg nach Gandersum 22. / 23.09.2014; NLWKN Betriebsstelle Aurich

NLWKN (2015b) Monitoringprogramm zur Vorbereitung und Begleitung verschiedener Maßnahmen im Rahmen des Masterplan Ems 2050, Stand Juni 2015; NLWKN Betriebsstelle Aurich

NLWKN (2016) Infobroschüre zum Emssperrwerk, Download unter [www.nlwkn.niedersachsen.de/hochwasser_kuestenschutz/\(...\)emssperrwerk](http://www.nlwkn.niedersachsen.de/hochwasser_kuestenschutz/(...)emssperrwerk); Artikel vom 11.03.2016; Zugriff 02.12.2016

OBERRECHT, D.; WURPTS, A. (2014) Impact of controlled tidal barrier operation on tidal dynamics in the Ems Estuary; DIE KÜSTE Heft Nr. 81

OBERRECHT, D.; FRANZ, B. und WURPTS, A. (2016)): Hydro- und morphodynamische Auswirkungen eines Tidesteuerungsbetriebes mit dem Emssperrwerk - Kurzanalyse im Rahmen der Machbarkeitsstudie zum Masterplan Ems 2050; NLWKN Betriebsstelle Norden-Norderney - Forschungsstelle Küste-

PETERS, K.-H. (2014) Küstenschutz Leybucht – 10 Jahre nach endgültigem Abschluss; in Nachrichten des Marschenrates, Heft 51

PROAQUA (2009) Entwicklung eines tidebeeinflussten Flachwassergebietes Spadeler Busch / Kreesand – Strömungsmodellierung / Sedimentmodellierung; Bericht im Auftrag von Hamburg Port Authority; ProAqua Ingenieurgesellschaft für Wasser- und Umwelttechnik Aachen

RUPERT, D. (1982) Wassergüteuntersuchungen des Wasserwirtschaftsamtes Aurich in der Ems sowie im Gebiet von Leda und Jümme; Forschungsstelle für Insel- und Küstenschutz der Niedersächsischen Wasserwirtschaftsverwaltung; Jahresbericht 1982, Band XXXIV

SCHUCHARDT, B.; JAKLIN, S.; HUBER, A.; BACHMANN, F. (2011) Entwicklungen von Naturschutzzielen und Maßnahmenkonzepten im Rahmen des Projektes "Perspektive Lebendige Unterems" – Zwischenbericht Juni 2011; BIOCONSULT Schuchardt und Scholle GbR

SCHUCHARDT, B. (2013) Projekt "Perspektive Lebendige Unterems" - Renaturierungsszenarien für die Unterems; Vortrag auf der Konferenz zur „Renaturierung Europäischer Ästuare: Möglichkeiten, Planungen und Umsetzung“ am 22.02.2013 im MARIKO Leer

SCHWARZ, W. (1996) Die Bedeutung des Wassers in Mittelalter und Neuzeit; in 1000 Jahre Leben mit dem Wasser in Niedersachsen; Band 1; Verlag Gerhard Rautenberg Leer

SPINGAT, F. (1997) Analyse der Schwebstoffdynamik in der Trübungszone eines Tideflusses; Mitteilungen des Leichtweiß-Instituts für Wasserbau der TU Braunschweig, Heft 139

VAN BEUSEKOM, J. (2014) Eutrophierung der Nordsee und des Wattenmeeres: Folgen, Maßnahmen, erste Erfolge und weitere Ziele; Vortrag 11.02.2014 Emssperrwerk Gandersum

VROOM, J.; VAN DEN BOOGAARD, H.; VAN MAREN, B. (2012) Mud dynamics in the Ems-Dollard, research phase 2, Analysing existing data; DELTARES, NL-Delft

WaWi (1991) Sehr kritische Sauerstoffkonzentrationen in der Ems im September 1991; Wasserwirtschaftsamt Aurich Sept. 1991

WINTERWERP, J. (2010) Fine sediment transport by tidal asymmetry in the high-concentrated Ems River: indications for a regime shift in response to channel deepening; in Ocean Dynamics; Springer-Verlag

WINTERWERP, J. (2013) Impact of human interventions on estuarine dynamics - regime shifts; Deltares and Delft University of Technology; Vortrag auf der Konferenz zur „Renaturierung Europäischer Ästuare: Möglichkeiten, Planungen und Umsetzung“ am 22.02.2013 im MARIKO Leer

WWF (2014) Ems-Ästuar 2030 – Ein Masterplan für die Ems; April 2014

ZANKE (2012) Stellungnahme zur Frage der Sicherheit des Emssperrwerks bei Gandersum gegen Auskolkung bei Probetriebsbetrieben mit Schließung der Nebenschiffahrtsöffnungen; Zanke und Partner, Garbsen April 2012

ZANKE (2016) Gutachtliche Stellungnahme zur Frage der Sohlensicherung und Kolkbildung am Emssperrwerk bei Betriebsfällen zur Tidebeeinflussung; Zanke und Partner, Garbsen Januar 2016