



Masterplan Ems 2050

Technischer Test im Sommer 2020

Ergebnisse des Monitorings - KURZFASSUNG

EXPOSEE

Technischer Test des Emssperrwerks zur
Tidesteuerung -
Lösung des Schlickproblems und Verbesserung der
Gewässergüte mit dem Ziel besserer
Lebensbedingungen für die Gewässerfauna und
-flora in der Unterems

Engels, Andreas
Borgsmüller, Christine
Schöl, Andreas
Krebs, Martin
Maushake, Christian
Rosenhagen, Anton
Oberrecht, Dennis
Van der Wel, Rens
Bruckert, Patrick
Dirks, Holger
Tants, Rabea
Amman, Bärbel

Inhalt

Ergebnisse des Monitorings - Zusammenfassung	2
Ergebnisse des Monitorings - Kurzfassung.....	3
I. Einleitung	3
a. Aufbau des Monitoringberichts – schnelle Kurzfassung und detaillierte Langversion	3
b. Hintergrund – Ausbau der Unterems.....	3
c. Heutiger Zustand der Unterems – Feststoffimport, schlechte Gewässergüte und hohe Kosten ...	4
e. Der Technische Test im Sommer 2020 und das begleitende Messprogramm.....	5
f. Danksagung.....	6
II. Messkampagne während des Technischen Tests.....	7
III. Die wesentlichen Erkenntnisse aus dem Versuch	8
a. Ist der Test trotz Unterbrechungen aussagekräftig?	8
b. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Schwebstoffkonzentration und auf den Flüssigschlick.....	8
c. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Sedimentation im Emder Fahrwasser, im Emder Außenhafen und im Bereich der Liegewannen	10
d. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Bewirtschaftung des Emder Außenhafens	11
e. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Sauerstoffverhältnisse	12
f. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Salzgehalte.....	13
g. Verträglichkeit der Tidesteuerung für das Emssperrwerk	13
h. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Wasserstandsverhältnisse der Oberflächengewässer	14
j. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Strömungsverhältnisse	16
k. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Außenmuhden.....	17
l. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Sielentwässerung.....	17
m. Auswirkung der Tidesteuerung auf den Hochwasserschutz im Leda-Jümme-Gebiet.....	18
n. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Tideniedrigwasserproblematik im Leda-Jümme-Gebiet .	18
o. Auswirkung der Tidesteuerung auf den Sportbootverkehr im Leda-Jümme-Gebiet.....	19
IV. Schlussfolgerungen	19
V. Was lernen wir für die Zukunft?	20

Masterplan Ems 2050- Technischer Test im Sommer 2020

Ergebnisse des Monitorings - Zusammenfassung

Während des Sommerhalbjahres kennzeichnen hohe Schwebstoffkonzentrationen, eine mächtige Flüssigschlickschicht, niedrige Sauerstoffgehalte und hohe Salzkonzentrationen die Unterems. Zudem verursacht die Unterhaltung der Fahrwassertiefen hohe Kosten. 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.

Im Sommer 2020 wurde in 42 Tiden die Variante „Tideniedrigwasseranhebung“ und in fünf Tiden die Variante „Flutstromtidesteuerung“ getestet und durch eine umfangreiche Messkampagne begleitet. Das wichtigste Ergebnis: Grundsätzlich stellte sich heraus, dass bereits vereinzelte Tideniedrigwasseranhebungen einen positiven Effekt auf die Gewässergüte hatten. Die Schwebstoffgehalte sanken deutlich, in einzelnen Flussabschnitten wurde die Mächtigkeit der Flüssigschlickschicht deutlich reduziert, die Salzgehalte nahmen ab und die Sauerstoffwerte stiegen. Diese Ergebnisse zeigten sich je nach Intensität der Steuerung in unterschiedlichem Maße, der positive Effekt aber war klar erkennbar.

Zusammenfassend sind folgende Ergebnisse zu nennen:

- Trotz häufiger Unterbrechungen ist der Technische Test aussagekräftig.
- Je häufiger die Tidesteuerung ausgeführt wurde, desto größer war deren Effizienz und Nachhaltigkeit.
- Es trat eine signifikante Abnahme der Schwebstoffgehalte ein.
- Die mobile Flüssigschlickschicht wurde verringert.
- In der Unterems stellte sich bis mindestens zur Geisespitze eine ebbstromdominante Strömungscharakteristik ein, die sich positiv auf den Feststofftransport auswirkte.
- Die Sauerstoffverhältnisse wurden deutlich verbessert.
- Das Vordringen salzhaltigen Wassers wurde vermindert.
- Das Emssperrwerk ist baulich für die Tidesteuerung geeignet. Von der Tideniedrigwasseranhebung ging keine zusätzliche Belastung der Sohlsicherung aus; die Sohlsicherung hielt den Belastungen der Flutstromtidesteuerung stand.
- Die Tideniedrigwasseranhebung führte zur zusätzlichen Sedimentation im Emders Fahrwasser und im Emders Außenhafen.
- Die Bewirtschaftung des Emders Außenhafens wurde durch die erhöhte Sinkgeschwindigkeit des Wasserstandes sowie den niedriger eintretenden Tideniedrigwasserständen ungünstig beeinflusst. Aus der Verzögerung des Ladebetriebs resultiert eine Verlängerung der Liegezeiten. Damit geht eine Beeinträchtigung der Unterhaltungsbaggerung in den Liegewannen einher, die durch zusätzliche Personal- und Gerätezeiten kompensiert werden müssen.
- Die Tideniedrigwasseranhebung führte oberhalb des Emssperrwerks zu einer Schwallwelle, die in Richtung Herbrum an Stärke abnahm. Unterhalb des Bauwerks führte diese Steuerungsvariante zu einer Sunkwelle, die in Richtung Knock auslief. Unterhalb des

Emssperrwerks führte das rasche Absinken des Wasserstands sowie die niedriger eintretenden Tideniedrigwasser zur Beeinträchtigung der Hafenvirtschaft im Emdener Außenhafen. Darüber hinaus führte die Wasserstandsbewegung weder ober- noch unterhalb des Emssperrwerks zu einer Beeinträchtigung oder Gefährdung des Schiffs- oder Bootsverkehrs. Im Zusammenhang mit dem Sunk und Schwall wurden im Bereich der Liegestellen entlang der Ems auch keine kritischen Strömungsgeschwindigkeiten beobachtet.

- Von der intermittierenden Tideniedrigwasseranhebung ging keine Beeinträchtigung der Sielentwässerung aus. Ein Nachteil für die Unterhaltung der Außenmuhden konnte aufgrund der vorliegenden Datenlage und vor dem Hintergrund der natürlichen Sedimentumlagerung nicht nachgewiesen werden. Eine turnusmäßige Vermessung der Außenmuhden wird angeraten.
- Die Tideniedrigwasseranhebung führte zu keiner Beeinflussung des Hochwasserschutzes im Leda-Jümme-Gebiet.
- Die Tideniedrigwasseranhebung kann das Eintreten sehr niedriger Tidewasserstände im Leda-Jümme-Gebiet verhindern.

Ergebnisse des Monitorings - Kurzfassung

I. Einleitung

a. Aufbau des Monitoringberichts – schnelle Kurzfassung und detaillierte Langversion

Der Monitoringbericht ist als fortzuschreibendes Dokument zu verstehen, da es sich um eine Zusammenstellung von Auswertungen komplexer Sachverhalte handelt, die nicht in allen Einzelheiten aufeinander abgestimmt sind. Dabei geben die Beiträge der beteiligten Institutionen die Auffassung der jeweiligen Bearbeiter wieder.

Die Kurzfassung des Monitoringberichts gibt einen schnellen Überblick über den Technischen Test und nennt die Veranlassung und die wichtigsten Fragen und Antworten. Die daran anschließende Langfassung enthält eine detaillierte Schilderung der Entwicklung der Gewässergüte, der hydro-meteorologischen Randbedingungen des Versuchs, der aktuellen Ausgangslage der Gewässergüte und der Funktionsweise des Emssperrwerks. Der Langfassung sind alle Details der Messungen zu entnehmen, und zwar wann – was – wo gemessen wurde und welche Messtechnik zum Einsatz kam. Anschließend werden alle Messergebnisse vollständig dargelegt und interpretiert. Am Ende der Langfassung befindet sich eine Bewertung der Tidesteuerung aus verschiedenen Perspektiven. Zu jedem Aspekt erfolgt dort eine zusammenfassende Erläuterung des Sachverhaltes. Einige Institutionen haben über die von Ihnen ausgeführten Messungen einen eigenständigen Monitoringbericht verfasst. Diese Berichte sind der Langfassung als Anlage beigefügt.

b. Hintergrund – Ausbau der Unterems

Natürlicherweise bildet sich am oberen Rand der Brackwasserzone die sogenannte Trübungszone aus, in der die Schwebstoffkonzentration im Wasser sowie der Schlickanfall an der Gewässersohle naturgemäß besonders ausgeprägt ist. Je nach Randbedingungen können die Konzentrationen von Schwebstoff, Sauerstoff und Salz verhältnismäßig stark schwanken. Die über mehrere Jahrzehnte durchgeführten Begradigungen und Vertiefungen der Tideems 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, vorgedrungen. Während des Sommerhalbjahres kennzeichnen hohe Schwebstoffkonzentrationen, eine mächtige Flüssigschlickschicht, niedrige Sauerstoffgehalte und hohe Salzkonzentrationen die Unterems. Zudem verursacht die Unterhaltung der Fahrwassertiefen hohe Kosten.

c. Heutiger Zustand der Unterems – Feststoffimport, schlechte Gewässergüte und hohe Kosten

Der Ausbau der Unterems setzte mehrere Mechanismen in Gang, deren Zusammenwirken dazu führen, dass die Unterems mehr Feststoffe importiert als exportiert und sich somit mit diesen auflädt. Als wesentliche Eigenschaften sind zu nennen:

- Abnahme der Dämpfung der von See einschwingenden Tidewelle, so dass mehr Tideenergie in das Ästuar stromaufwärts gelangt,
- Zunahme des seeseitigen Einflusses (ästuarine Zirkulation),
- Intensivierung der Strömung (besonders während der Flutphase),
- Verkürzung der Flutstromdauer und Verlängerung der Ebbestromdauer,
- Zunahme des Tidehubs bzw. des Tidevolumens,
- Intensive Flutströmung und gemächliche Ebbströmung,
- um Tidehochwasser niedrige Strömungsgeschwindigkeit, wodurch sich Schwebstoffe absetzen und in der nachfolgenden Ebbephase erst spät durch die Strömung aufgenommen und begrenzt stromab transportiert werden,
- Um Tideniedrigwasser kaum Strömungsstillstand, wodurch Feststoffe in Schwebelag bleiben und mit der einsetzenden Flut sofort wieder weit stromauf transportiert werden,
- Intensivere Durchmischung des Wassers mit Schwebstoffen während der Flutphase als in der Ebbephase (Schichtung während der Ebbephase),
- Verringerung des Feststoffaustrags im Winter, Verstärkung des Feststoffeintrags im Sommer,
- Abnahme der Reibung, weitere Strömungskonzentration und Intensivierung des Transports, inkl. Salz,
- Aufladung der Unterems mit Feinsediment, hoher organischer Anteil,
- Schlechter ökologischer Zustand: Mächtige Flüssigschlickschicht, hohe Schwebstoffkonzentrationen, niedrige Sauerstoffkonzentrationen und erhöhte Salzkonzentrationen, hohe Variabilität in der Tide und innerhalb des Jahres,
- Hoher Kostenaufwand.

Ein ungünstiger Einfluss auf den Sedimenthaushalt der Unterems wird auch im Zusammenhang mit der Änderung der Unterhaltungsbaggerung im Emders Außenhafen diskutiert. Seit 1995 wird dort kein

Sediment mehr entnommen und an Land verbracht, so dass seitdem mehr Material im Gesamtsystem verbleibt.

Der Feststofftransport wird stets durch die Variation der Tide und des Frischwasserzuflusses (Oberwasserzufluss) überlagert. Der stromaufwärts gerichtete Transport nimmt mit zunehmender Tideintensität (z.B. Springtide) zu. Der Anstieg des Oberwasserzuflusses wirkt sich dagegen reduzierend auf den stromauf gerichteten Transport aus und kann diesen sogar umkehren. Dieses geschieht allerdings nur, wenn der Oberwasserzufluss eine kritische Marke überschreitet, die oberhalb des Jahresmittelwertes liegt.

d. Lösung des Schlickproblems - die Flexible Tidesteuerung

Die Lösung des Schlickproblems und die Verbesserung der Gewässergüte sind die wichtigsten Ziele des Masterplans Ems 2050. Dafür haben die Bundeswasserstraßenverwaltung und der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NWLKN) die „Flexible Tidesteuerung“ entwickelt. Über die Flexible Tidesteuerung nimmt das Emssperrwerk einen günstigen Einfluss auf die Tidebewegung, insbesondere auf den Feststofftransport der Ems. Die Tidesteuerung wirkt der Dominanz des Flutstroms entgegen. Bei der Tidesteuerung gibt es zwei Varianten:

Die Tideniedrigwasseranhebung: Dabei schließen die Tore des Sperrwerks während des ablaufenden Wassers, rd. eineinhalb Stunden vor Niedrigwasser. Dadurch wird Wasser oberhalb des vollständig geschlossenen Emssperrwerks zurückgehalten, wodurch dort der Wasserstand rund einen bis eineinhalb Meter höher stehen bleibt als bei „normalem“ Niedrigwasser. Stromab vom Sperrwerk läuft das Wasser im normalen Tideverlauf weiter ab und steigt in der danach einsetzenden Flut wieder an. Bei gleichem Wasserstand auf beiden Seiten des Sperrwerks werden die Tore wieder geöffnet. Das in der Unterems zurückgehaltene Wasser beruhigt sich während dieser Zeit und vermindert nach Öffnung des Sperrwerks den intensiven Flutstrom. Bei dieser Variante ist das Emssperrwerk für drei bis vier Stunden innerhalb einer Tide geschlossen, in der übrigen Zeit ist das Bauwerk vollständig geöffnet.

Die Flutstromtidesteuerung: Dabei werden die Tore bei Einsetzen der Flut teilweise geschlossen; die Hauptschiffahrtsöffnung komplett und die Nebenöffnungen bis auf unterschiedlich große Durchflussöffnungen. Durch die Einengung wird der Flutstrom großräumig gebremst. Wegen der lokal in der Nähe des Sperrwerks entstehenden höheren Fließgeschwindigkeiten ist für eine dauerhaft betriebene Flutstromsteuerung - anders als bei der Tideniedrigwasseranhebung - die Erweiterung der Sohlsicherung erforderlich. Daher wurde diese Variante während des Tests nur kurz ausprobiert. Bei dieser Steuerungsvariante ist das Emssperrwerk für etwa vier Stunden innerhalb einer Tide teilweise geschlossen und bleibt in der übrigen Zeit vollständig geöffnet.

e. Der Technische Test im Sommer 2020 und das begleitende Messprogramm

Ab dem 29. Juni 2020 wurde die Flexible Tidesteuerung über zwei Monate im Naturbetrieb getestet. Der Versuch wurde durch ein aufwändiges Messprogramm begleitet, um die Reaktion der Tideems auf die Steuerung zu erfassen.

Ursprünglich war geplant, während eines ersten Abschnitts des Tests die Tideniedrigwasseranhebung in jeder Tide durchzuführen. In einem Zweiten Abschnitt sollte die Tidesteuerung dann nur in etwa jeder zweiten Tide erfolgen, um eine geringere Beeinträchtigung des Schiffsverkehrs zu gewähren. Aus

Rücksicht auf die Hafenwirtschaft Emden wurden während des Tests weniger Tiden gesteuert als geplant. Zudem ließ es sich auch nicht immer einrichten, dass immer direkt aufeinander folgende Tiden gesteuert wurden. Letztlich erfolgte die Tidesteuerung variabel, d.h. in unterschiedlichen Intensitäten. Dabei gab es Phasen, in denen direkt aufeinander folgende Tide gesteuert wurden, aber auch Zeitabschnitte vorkamen, in denen das Sperrwerk nur in jeder zweiten Tide oder auch seltener geschlossen wurde. Zwischen den gesteuerten Tiden gab es zum Teil längere Zeiträume, in denen das Sperrwerk nicht zum Einsatz kam. Tatsächlich glich die Steuerung durch die häufigen Unterbrechungen eher der verkehrsverträglichen Tidesteuerung, die zur Gewährleistung der Durchgängigkeit des Emssperrwerks für die Berufsschifffahrt und den Bootsverkehr auch ungesteuerte Tiden vorsieht.

Modelltechnisch lassen sich die Tidebewegung und der Feststofftransport in der Ems nachbilden. Darüber hinaus ist damit zu ermitteln, welche Einflussnahme die Tidesteuerung darauf ausübt. Die Aufgabe des Technischen Tests war, den positiven Effekt dieser Maßnahme unter realen Bedingungen sowie die Gebrauchstauglichkeit des Emssperrwerks unter Beweis stellen.

Folgende Fragen soll der Technische Test beantworten:

- Tritt eine signifikante Senkung der Schwebstoffgehalte ein?
- Wie verhält sich die Flüssigschlickschicht?
- Kann eine Flutstromdominanz unterbunden werden?
- Werden die Sauerstoffverhältnisse deutlich verbessert?
- Wird das Vordringen salzhaltigen Wassers in die Unterems gehemmt?
- Ist das Emssperrwerk an sich für die Tidesteuerung geeignet und hält die Sohlsicherung den Belastungen stand?
- Welcher Einfluss wird auf die Sedimentation und Erosion in der Ems ausgeübt?
- Gibt es negative Auswirkungen auf die Sedimentation im Emders Fahrwasser, im Emders Außenhafen und im Bereich der dortigen Liegewannen?
- Wird die Bewirtschaftung des Emders Außenhafens ungünstig beeinflusst?
- Wie wirkt sich die Tidesteuerung genau auf die Wasserstands- und Strömungsverhältnisse aus?
- Welche Auswirkungen sind auf die Sielentwässerung und auf die Unterhaltung der Außenmuhden zu erwarten?
- Gibt es eine Beeinflussung des Hochwasserschutzes im Leda-Jümme-Gebiet?
- Kann die Tideniedrigwasseranhebung das Eintreten sehr niedriger Tidewasserstände im Leda-Jümme-Gebiet verhindern?
- Wie wirken sich unterschiedliche Häufigkeiten oder Pausen der Tidesteuerungen auf die Wirkung aus?

f. Danksagung

Der technische Test wurde durch eine umfangreiche Messkampagne begleitet. Die daran beteiligten Institutionen waren das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Ems-Nordsee (WSA), die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Niedersachsen Ports Niederlassung Emden (NPorts) und der NLWKN (Forschungsstelle Küste und Betriebsstelle Aurich). Die vielfältigen Messungen in der gesamten Tideems erforderten einen hohen personellen und materiellen Aufwand und waren nur durch den engagierten und persönlichen Einsatz aller beteiligten Kolleginnen und Kollegen sowie durch eine gut funktionierende Zusammenarbeit der Institutionen zu realisieren. Dafür ist allen Beteiligten zu danken!

II. Messkampagne während des Technischen Tests

Die verschiedenen Messungen erfolgten von Borkum bis Herbrum und im Leda-Jümme-Gebiet, zum einen stationär in hoher zeitlicher Auflösung und zum anderen mobil mit höherer räumlicher Information. Die stationären Messungen finden z.T. bereits seit mehreren Jahrzehnten statt und zeigen die Dynamik der jeweiligen Parameter in Abhängigkeit von Tide, Mondzyklus und Jahreszeit. Zudem lassen sich an den Langzeitmessungen Veränderungen ablesen, die durch den Ausbau der Ems hervorgerufen wurden. Die mobilen Messungen ermöglichten eine Datenerfassung an einer Vielzahl von Positionen und waren damit eine Ergänzung zu den stationären Messungen. Die Messungen begannen z.T. bereits vor dem Technischen Test und wurden auch über den Versuch hinaus weitergeführt. Zudem erfolgten die Messungen sowohl in gesteuerten als auch in ungesteuerten Tiden. Vor diesem Hintergrund ist die Wirkung der Tidesteuerung deutlich zu erkennen und lässt sich von der natürlichen Schwankung unterscheiden.

Es liegen Messwerte vor:

- Zu den meteorologischen Verhältnissen,
- Zum Abfluss aus dem Binnenland,
- Zur Torstellung des Emssperrwerks,
- Zur Tor-Schwingung / Emssperrwerk,
- Zu den Wasserständen der oberirdischen Gewässer und des Grundwassers (Ems, Leda-Jümme-Gebiet),
- Zu Wellen (Ems),
- Zur Strömung und Turbulenz (Ems)
- Zum Schwebstoffgehalt (Ems, untere Leda),
- Zum Sauerstoffgehalt (Ems, untere Leda),
- Zum Salzgehalt (Ems, Leda, Jümme),
- Zur Wassertemperatur (Ems, Leda, Jümme)
- Zu den Tiefenverhältnisse (Ems, Emssperrwerk, Emders Außenhafen, Liegewannen Emders Fahrwasser, Außenmuhlen der Siele und Schöpfwerke)
- Zu den Abmessungen, zur Ausdehnung und zu den Dichteverhältnissen der Flüssigschlickschicht (Ems, Emders Außenhafen, Liegewannen Emders Fahrwasser, Außenmuhlen der Siele und Schöpfwerke)
- Zur Sedimentzusammensetzung.

Die Wetterverhältnisse waren vor und während des Tests sehr unterschiedlich. Der Juli war insgesamt sehr wechselhaft, windig, kühl und nass. In der ersten und letzten Juliwoche waren jeweils über mehrere Tage Windstärken von über 7 Beaufort festzustellen. In der ersten Augushälfte stellten sich stabilere Wetterverhältnisse ein. Eine mehrtägige Hitzewelle brachte in der letzten Woche des Tests heißes (> 30°C) und trockenes Wetter. Die Wassertemperaturen während des Testzeitraums änderten sich mit der jeweiligen Witterung. Im Juni und August lagen die Wassertemperaturen deutlich über dem langjährigen Monatsmittelwert, während die Temperatur im Juli sogar unterdurchschnittlich war.

Die Abflussverhältnisse aus dem Binnenland waren zu Beginn und während des Tests unterdurchschnittlich. Im Juni und Juli wurden 70 bis 75% des jeweiligen Monatsmittelwertes erreicht und im August betrug das Oberwasser bis zum Versuchsende nur rd. 50 % des Monatsmittelwertes. Die Tidewasserstände wichen aufgrund der Windverhältnisse zeitweilig deutlich vom astronomischen Verlauf ab, wie z.B. bei der Sturmflut am 6. Juli (Windstau). In anderen Fällen waren sehr niedrige Wasserstände zu beobachten (Windsunk).

Vor Versuchsbeginn waren die Salzgehalte oberhalb von Terborg relativ niedrig und unterhalb davon relativ hoch. Die Schwebstoffkonzentrationen waren zwischen Knock und Weener relativ niedrig und bei Papenburg relativ hoch. Die Sauerstoffwerte waren zwischen Pogum und Weener relativ hoch, in Papenburg, Herbrum und an der Knock waren diese vor Versuchsbeginn relativ niedrig.

Aus Rücksicht auf die Schiffs- und Umschlagssituation im Emdener Außenhafen und den dazugehörigen Liegestellen entlang der Ems wurden insgesamt rd. 60% der ursprünglich vorgesehenen Tiden gesteuert. Diese Tidesteuerungen folgten nicht immer zeitlich direkt aufeinander, sondern fanden in unterschiedlicher Form intermittierend statt. In einem Fall musste die Tidesteuerung für mehrere Tage unterbrochen werden. Insgesamt wurden 42 Tiden nach der Methode der Tideniedrigwasseranhebung gesteuert und zudem 5 Flutstromtidesteuerungen ausgeführt.

III. Die wesentlichen Erkenntnisse aus dem Versuch

a. Ist der Test trotz Unterbrechungen aussagekräftig?

Insgesamt war während des Testzeitraums ein breites Spektrum unterschiedlicher Randbedingungen vorhanden: Die Tidesteuerung erfolgte phasenweise in direkt aufeinander folgenden Tiden und auch mit Unterbrechungen unterschiedlicher Dauer. In einem Fall war der Test sogar für 17 Tiden auszusetzen. Daneben herrschten ganz unterschiedliche hydro-meteorologische Randbedingungen während des Testzeitraums.

Zum einen konnten in den 47 Tidesteuerungen wichtige Erkenntnisse hinsichtlich der technischen Eignung des Emssperrwerks, als zentrales Instrument dieser Maßnahme, gesammelt werden. Zum anderen war es im mehrwöchigen Beobachtungszeitraum trotz der Variabilität der hydro-meteorologischen Randbedingungen und der Steuerungsintensität möglich, einen guten Einblick in die Wirksamkeit der Tidesteuerung zu erhalten. Darüber hinaus lassen die Ergebnisse einen Ausblick hinsichtlich der Durchführbarkeit eines zukünftigen Dauerbetriebs und der Reduzierung des stromaufwärts gerichteten Feststofftransportes sowie der Verbesserung der Gewässerökologie (Gewässergüte) zu.

Eine wichtige Erkenntnis des Technischen Test ist, dass das Emssperrwerk technisch imstande ist, die Tidesteuerung auszuführen und dass bereits vereinzelt Tideniedrigwasseranhebung einen positiven Effekt auf die Gewässergüte ausübten. Allerdings reichte die Wirkung bei der Steuerung nur einer Tide nicht über diese hinaus. Wurden allerdings mehrere direkt aufeinander folgende Tideniedrigwasser angehoben, so zeichnete sich eine rasche und signifikante Verbesserung ab, die sich auch über den Zeitraum der gesteuerten Tide hinaushielt. Bei Übergang zu einer Steuerung jeder zweiten Tide war zwar eine Verschlechterung der Güte festzustellen, dieser war aber trotzdem besser als der Referenzzustand.

b. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Schwebstoffkonzentration und auf den Flüssigschlick

Tideniedrigwasseranhebung

Die Schwebstoffgehalte nahmen mit Beginn der Tidesteuerung unmittelbar über einen langen Abschnitt der Unterems stark ab, und zwar von der Wasseroberfläche bis zur Oberfläche des Flüssigschlicks. Im Verlauf des technischen Testbetriebs war von der Wasseroberfläche bis zur

Oberkannte des bis dahin noch vorhandenen Flüssigschlicks nur noch eine geringe Schwebstoffkonzentration vorhanden. Eine mobile Flüssigschlickschicht war an den Messpunkten dann nicht mehr zu beobachten, die ortsfeste (stationäre) Schicht nahm dafür an Mächtigkeit zu. Dadurch stand weniger Feststoff in Form von mobilem Flüssigschlick für den Transportprozess zur Verfügung. Durch die Reduzierung der vertikalen Durchmischung wurden Schwebstoffe nur noch in sehr geringem Umfang in die obere Wassersäule eingemischt und damit auch nicht mehr so intensiv (stromauf) transportiert. Da es durch die Tideniedrigwasseranhebung insbesondere zu einer Reduzierung der maximalen Flutstromgeschwindigkeiten beim Einsetzen des Flutstromes kommt, konnte auch in Bezug auf die Schwebstoffgehalte während der Flutphase die deutlichste Reduzierung der Schwebstoffkonzentrationen beobachtet werden. Die transportierten Mengen konnten durch die Steuerung sowohl während Ebbstrom als auch während Flutstrom reduziert werden. Allerdings fiel die Reduzierung der Transporte bei Flutstrom stärker aus, da die besonders hohen Strömungsgeschwindigkeiten zu Beginn der Flutphase durch die Steuerung nicht mehr auftraten.

Die Tideniedrigwasseranhebung führte in den Abschnitten zur stärksten Abnahme der Schwebstoffkonzentrationen, wo vor Testbeginn die höchsten Schwebstoffwerte gemessen wurden und wo sich bis dahin eine Flüssigschlickschicht ausgebildet hatte. Neben der verminderten Durchmischung des Wassers konnte mit dem Beginn der Tideniedrigwasseranhebung auch eine Ausdehnung der Flüssigschlickbildung Ems abwärts sowie eine Abnahme der Mächtigkeit der Flüssigschlickschicht oberhalb von Papenburg beobachtet werden. Dieses Verhalten ist auf die Reduzierung der Tideenergie in der Unterems zurückzuführen.

Mit Beginn der Tideniedrigwasseranhebung konnte im Emders Fahrwasser eine Zunahme der stationären Schlickschicht bis zur mehrtägigen Unterbrechung der Steuerung beobachtet werden. Diese Zunahme könnte aufgrund der starken Tidevolumenreduzierung auf eine lokale Sedimentation innerhalb des Emders Fahrwassers hinweisen.

Die Naturmessungen ermöglichen in begrenztem Rahmen Aussagen hinsichtlich der Dauer, über die sich nach Beendigung der Tidesteuerung die Verhältnisse wieder bis in den ursprünglichen Zustand zurückbilden. In einer ungesteuerten Tide, die auf eine Tideniedrigwasseranhebung folgte, war die vertikale Durchmischung gegenüber dem Referenzfall noch reduziert und die Schwebstoffkonzentrationen blieben damit niedriger. Mit zunehmender Dauer der Unterbrechung stellten sich zunehmend wieder Verhältnisse ein, die mit denen des Referenzfalls vergleichbar waren. Daraus lässt sich ableiten, dass wahrscheinlich nach Beendigung der Steuerung innerhalb weniger Tiden wieder quasi unbeeinflusste Verhältnisse eintreten.

Flutstromtidesteuerung

Die Flutstromtidesteuerung soll einen höheren Feststofftransport bei Ebbe als bei Flut bewirken (netto-Stärkung des Ebbstromtransportes). Bei langfristiger Steuerung würde darüber die Feststoffmenge in der Unterems reduziert werden, woraus sich eine entsprechende Verminderung der Flüssigschlickbildung und der Schwebstoffkonzentrationen ergäbe.

Während des Technischen Tests deuteten die stationären Messungen dieses Verhalten grundsätzlich an. Die Reduzierung der maximalen Flutstromgeschwindigkeit war bei der Flutstromtidesteuerung nahezu so groß wie bei Tideniedrigwasseranhebung. Ein wesentlicher Unterschied beider Varianten war jedoch, dass bei der Tideniedrigwasseranhebung ein Zeitraum von ca. 2 h mit sehr geringen Strömungsgeschwindigkeiten vorkam, in dem sich ein großer Anteil der Schwebstoffe zur Sohle hin absetzen konnte. Dagegen verblieb bei der Flutstromtidesteuerung ein höherer Schwebstoffgehalt in der Wassersäule, der während der Ebbe unmittelbar stromab transportiert werden konnte. Da nur fünf Tiden mit dieser Variante gesteuert wurden, sind Aussagen über den Einfluss auf die Schwebstoffdynamik nur sehr begrenzt möglich. So ist auch kaum eine Aussage zur langfristigen Verlagerung oder Kompaktierung der Flüssigschlickschicht in Folge der Flutstromtidesteuerung

möglich. Es zeigt sich jedoch, dass sich ebenfalls nach einer gesteuerten Tide eine Verlagerung bzw. horizontale Ausdehnung der mächtigen Flüssigschlickschicht einstellt, was dem Zustand bei der Tideniedrigwasseranhebung entspricht.

c. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Sedimentation im Emder Fahrwasser, im Emder Außenhafen und im Bereich der Liegewannen

Die große natürliche Variabilität der Sedimentation und Erosion im Emder Fahrwasser erschwerte die Interpretation der dort erhobenen Messergebnisse hinsichtlich der Abhängigkeit von der Tideniedrigwasseranhebung. Allerdings spricht die Langzeitbeobachtung eines Referenzprofils dafür, dass tatsächlich größere Feststoffmengen transportiert wurden und sich so vom Emder Fahrwasser ausgehend auch im Außenhafen ablagern konnten. Neben einer Sedimentation, die sich im Fahrwasser insbesondere in den Bereichen mit Querschnittsaufweitung ergab, waren allerdings auch (Tiefen-) Bereiche vorhanden, in denen eine Erosion eintrat.

Es zeigte sich, dass generell ausgeprägte saisonale Schwankungen vorhanden sind, die zumindest für die Bereiche der emsnahen Liegewannen größere Bedeutung besitzen als die vermutliche Wirkung des Technischen Tests. So war anhand von Sedimentuntersuchungen bereits vor dem Test und direkt in den Liegewannen ein Anstieg des Sandgehaltes an einer überwiegenden Anzahl der Beprobungsstellen dokumentiert. Dieses wird hauptsächlich in Verbindung gebracht mit einer Intensivierung des Transportes mariner Sedimente, wie sie in den Sommermonaten und weit in den Herbst und Winter hinein unter geringen Oberwasserabflüssen typisch sind.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Sedimentation im Emder Außenhafen durch die Tideniedrigwasseranhebung zunahm. Auch die Umlagerung innerhalb des Außenhafens nahm möglicherweise dadurch zu, denn durch das größere Austauschvolumen infolge stärkerer Absenkung der Tideniedrigwasserstände und höherer Druckunterschiede infolge des Absunks könnten die stabilen Verhältnisse des bereits vorhandenen Flüssigschlicks beeinflusst haben. Darüber hinaus war eine Absenkung der Oberfläche des Flüssigschlicks im Außenhafen zu beobachten. Eine mögliche Ursache dafür könnte sein, dass infolge der Tideniedrigwasseranhebung vermehrt Sand eingetragen wurde, der zu einer stärkeren Konsolidierung der Sedimente führte. Eindeutig belegt ist dieser Vorgang allerdings nicht - dieser Aspekt ist nur durch langfristige Messungen abzuklären.

Aufgrund der charakteristischen Strömungsverhältnisse im Einfahrtbereich des Außenhafens kommt es dort generell zu einer typischen Sedimentation, deren Gestalt als Barre bezeichnet wird. Die Ausprägung dieser Barre ist nicht statisch, sondern ändert sich entsprechend der stets dynamischen Einflussfaktoren. Die Barre weist im gemessenen Querschnitt die mehr oder weniger typische Form eines Sedimentationsmusters im Bereich von Hafeneinfahrten/Einmündungen auf, welche sich durch die sich ausbildende Scherzone und damit angrenzende Bereiche deutlich niedrigerer Strömungsgeschwindigkeit sowie Turbulenz ergeben. Während des Technischen Tests lag hier eine sogenannte Mindertiefe vor, die für den Schiffsverkehr kritisch zu bewerten ist.

Nach dem Technischen Test wurde ein deutlicher Anstieg der Barrenhöhe und auch eine Verlagerung der Barre Hafen einwärts festgestellt. Die im September erreichte Höhe der Barre wurde allerdings bereits im Frühjahr vor dem Test übertroffen. Somit war ein Sedimentationsverhalten wie während und nach dem Technischen Test auch schon unabhängig davon zu beobachten.

Aufgrund der Vielzahl der beeinflussenden Faktoren ist anhand der bisher vorliegenden Daten die Ursache dieser Bewegung nicht zu benennen. Denkbar ist eine saisonale Änderung im Strömungs- oder Sedimentregime. Zur weiteren Beobachtung werden die Peilungen auf dem Referenzprofil weiter fortgesetzt.

d. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Bewirtschaftung des Emders Außenhafens

Der im Vorfeld des Technischen Tests prognostizierte Absink des Wasserstands bei Emden trat wie erwartet ein. Dieser führte allerdings zu vorher nicht von NPorts abgeschätzten Schwierigkeiten im Bereich des Außenhafens und den dazu gehörenden Liegewannen, so dass mehrfach Tidesteuerungen ausgesetzt werden mussten, um die Verzögerung der Ladevorgänge und den damit einhergehenden verlängerten Liegezeiten möglichst zu vermeiden. U.a. musste zeitweise der Ladevorgang von Autotransportern unterbrochen werden, da dieses die spezielle Konstruktion der Rampen erforderte. Grundsätzlich kann eine Verschiebung der Abfahrtszeiten zu Rückständen in den Folgehäfen führen. Es wurde erkannt, dass längere Schiffs Liegezeiten zu einer stärkeren Belegung der vorhandenen Liegeplätze führen, wodurch wiederum weniger Zeitfenster für die erforderlichen Unterhaltungsmaßnahmen (Unterhaltungsbaggerung/Rezirkulation) dieser Bereiche zur Verfügung stehen. Während des Testbetriebs konnte NPorts die erforderliche Unterhaltungsbaggerung nicht im normalen Rahmen durchführen. Es war eine intensive Abstimmung freier Zeitfenster erforderlich, da zum einen das Sediment häufiger zu bearbeiten war, um die Wassertiefen jederzeit sicherstellen zu können, zum anderen waren aufgrund der besonderen Umstände teilweise längere Liegezeiten der Schiffe vorhanden, wodurch die jeweiligen Liegestellen nicht jederzeit für die erforderlichen Arbeiten zugänglich waren. Durch diese außerplanmäßigen Einsatz- und Bereitschaftsstunden entstanden NPorts zusätzliche Kosten. Anhand der während des Tests gemachten Erfahrungen prognostiziert NPorts, dass bei einem Dauerbetrieb der Tidesteuerung die Einsatzzeiten des Nassbaggers ausgeweitet werden müssten, was zusätzliche Kosten verursachen würde und bei weiterer Zunahme nur mit einer Erweiterung des Gerätebestands abgedeckt werden könnte.

Die Kontrollpeilungen wurden während des Technischen Tests durch NPorts intensiviert. Bei Bedarf erfolgte eine zusätzliche Unterhaltungsmaßnahme in Form einer Rezirkulation in den Liegewannen. Im Außenhafen war keine nennenswerte Sedimentation in den Liegewannen festzustellen und die dortige Wochenrezirkulationsmengen blieben während des Technischen Tests im Rahmen der normalen Schwankungen. In den Liegewannen Emskai, Emspier und Dalbenliegeplatz und auch in den Zufahrtbereichen zu diesen Liegeplätzen war allerdings ein erhöhter Rezirkulationsaufwand nötig.

Im Normalfall beobachtet NPorts im Tidebereich des Hafens wechselnde Sandanteile. Dabei werden mittlere Anteile von etwa 25 % im Außen- und Vorhafen und von etwa 35 % im Bereich der Emsliegeplätze und ihrer Zufahrten festgestellt. Die im Zusammenhang mit der Beobachtung der Barre im Zufahrtbereich des Außenhafens erstellten Kornkurven ergeben außergewöhnlich hohe Sandanteile von etwa 50 %. Dieses Ergebnis ist allerdings noch eingehender vor dem Hintergrund der saisonalen Änderung im Strömungs- oder Sedimentregime zu bewerten. Zur weiteren Beobachtung werden durch das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Ems-Nordsee Peilungen auf einem Referenzprofil weiter fortgesetzt.

Durch die Tidesteuerung entstand der Hafenbetriebszentrale (HBZ) ein zusätzlicher Aufwand: Für jedes Schiff musste im Vorfeld geprüft werden, ob unter Berücksichtigung des jeweiligen Tiefgangs und der Beeinflussung der Wasserstandsverhältnisse ausreichend Wassertiefe in der Liegewanne vorhanden sein würde. Jedes Schiff musste intensiv durch die Nautik betreut und ggfs. Ladungsvorgänge unterbrochen werden, woraus sich im Einzelnen eine zeitliche Verzögerung des Ladungsvorganges und darüber auch die o.g. Einschränkung des Zeitfensters für erforderliche Baggereinsätze folgte.

Der Hafenbetreiber NPorts weist ausblickend darauf hin, dass der Anteil der tiefgehenden Schiffe zukünftig zunimmt und damit die Beeinflussung der Wasserstandsverhältnisse um Tideniedrigwasser zunehmend ins Gewicht fallen wird.

e. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Sauerstoffverhältnisse

Die Absolutwerte der Sauerstoffkonzentrationen waren vor Beginn des Tests niedrig, auch wenn diese abschnittsweise höher waren, als zu vergleichbaren Zeiten der Vorjahre. Mit Einsetzen der Tideniedrigwasseranhebung wurde das Sauerstoffniveau oberhalb von Gandersum insgesamt deutlich angehoben. Dabei äußerte sich die positive Wirkung am deutlichsten im oberen Abschnitt der Unterems, wo vor dem Test besonders niedrige Sauerstoffkonzentrationen vorhanden waren. Unterhalb von Gandersum nahm der wind- und tidebedingte Einfluss auf die Sauerstoffgehalte zu, allerdings war auch hier eine Verbesserung der Situation zu erkennen. Die sich einstellenden hohen Sauerstoffkonzentrationen waren als untypisch für die sonst sehr niedrigen Werte des Sommers zu bezeichnen und traten in vergleichbarer Art bisher nur bei außergewöhnlichen Randbedingungen auf, wie z.B. bei hohem Oberwasserzufluss oder niedriger Wassertemperatur.

Die vertikalen Sauerstoffgradienten änderten sich z.T. stark mit dem Wechsel der natürlichen Randbedingungen und der Steuerungsintensität. Bei intensiver Tidesteuerung traten relativ hohe Sauerstoffwerte über die ganze Wassersäule bis oberhalb der Flüssigschlickschicht auf. Je nach Kombination der Einflussfaktoren wurden jedoch zeitweise auch niedrige Sauerstoffgehalte im Sohlbereich, verbunden mit einem starken vertikalen Gefälle, beobachtet.

Je mehr Tideniedrigwasseranhebungen in direkter Folge ausgeführt wurden, desto geringer war das Volumen der mobilen Flüssigschlickschicht, insbesondere oberhalb von Weener, und desto niedriger waren die Schwebstoffkonzentrationen zwischen Herbrum und Gandersum. Da im Flüssigschlick nur sehr geringe Sauerstoffkonzentrationen oder gar kein gelöster Sauerstoff vorhanden ist, führte dessen Volumenabnahme auch zur Ausdehnung des sauerstoffreicheren Milieus. Darüber hinaus nahmen die Sauerstoffkonzentrationen im Wasserkörper insbesondere oberhalb von Leerort zu. War vorher oberhalb von Weener ein Bereich mit sehr niedrigen Sauerstoffwerten festzustellen, nahmen diese über die Folge der Tideniedrigwasseranhebungen zu. Dabei verkürzte sich die Strecke mit niedrigen Sauerstoffgehalten, bis dass überall relativ hohe Werte vorhanden waren.

Bei Aussetzen einer Tidesteuerung traten nicht sofort hohe Schwebstoffkonzentrationen bzw. niedrige Sauerstoffwerte auf. Im Technischen Test wurde zeitweise ein Anteil von > 60% der Tiden gesteuert, womit gegenüber dem Referenzzustand eine wesentliche Verbesserung der Verhältnisse erreicht werden konnte. Erst bei Steuerung eines geringeren Anteils der Tiden, insbesondere bei einem Aussetzen der Tidesteuerung über mehrere Tiden in Folge, setzte eine signifikante Verschlechterung der Gewässergüte ein.

Ein wesentlicher Unterschied der Steuerungsvarianten ist, dass bei der Tideniedrigwasseranhebung die Tideenergie in der Unterems sehr viel stärker reduziert wird als bei der Flutstromtidesteuerung. Dieses führt zu einer Beruhigung der Bewegungsvorgänge, zur Verminderung der Resuspension und insbesondere im oberen Abschnitt der Unterems zur Abnahme der Mächtigkeit der Flüssigschlickschicht. Der Wechsel der Steuerung von der Tideniedrigwasseranhebung auf die Flutstromtidesteuerung führt daher wieder zur Zunahme der Schichtdicke der Flüssigschlickschicht und es kommt zur Neubildung der mobilen Flüssigschlickschicht durch lokale Resuspendierung. Erst über eine längere Dauer als während des Technischen Tests für diese Variante zur Verfügung stand, würde sich der eigentliche Effekt zeigen, indem u.a. ein ebbseitiger Nettotransport zum Austrag von Feinsediment, zur Abnahme der Schwebstoffkonzentrationen und darüber zur Zunahme der Sauerstoffwerte in der Unterems führt. Die Anzahl von fünf Flutstromsteuerungen am Ende des Technischen Tests reichte nicht aus, um die Wirkung dieser Variante unter Beweis zu stellen.

f. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Salzgehalte

Unmittelbar vor Beginn des Tests waren von Herbrum/Heede bis Terborg niedrigere Salzgehalte als im langjährigen Mittel vorhanden. Dieses traf insbesondere für die Stationen Leerort, Leer (Leda) und Weener zu. Unterhalb von Terborg waren dagegen höhere Salzgehalte festzustellen. Unter den gegebenen Randbedingungen führte die Tidesteuerung zur weiteren Abnahme der Salzgehalte, und zwar am deutlichsten von Terborg bis Weener. Der Einfluss der Steuerung hob sich deutlich von dem der natürlichen Randbedingungen ab. Im Zeitabschnitt vor der mehrtägigen Unterbrechung der Tideniedrigwasseranhebung (19. bis 29.07.) betrug die maximalen Salzgehalte bei Terborg rd. 50%, bei Leerort rd. 40% und bei Weener rd. 75% des Ausgangszustands. Die Schwankung der Werte unterhalb von Terborg gingen im Wesentlichen auf die Variation der Salzgehalte im Mündungsbereich und die Werte bei Papenburg zumeist auf die Salzgehalte im zufließenden Oberwasser zurück.

Während der Unterbrechung des Tests nahmen die Salzgehalte synchron mit der zunehmenden Anzahl der ungesteuerten Tiden zu.

g. Verträglichkeit der Tidesteuerung für das Emssperrwerk

Sohlsicherung

Die Tideniedrigwasseranhebung lässt grundsätzlich keine Zunahme der Strömungsgeschwindigkeiten in Bauwerksnähe erwarten. Dagegen ist bei der Flutstromtidesteuerung durch den Spaltdurchfluss des teilweise geöffneten Sperrwerks prinzipiell mit erhöhten Geschwindigkeiten und zu Umlagerungen des Sohlmaterials zu rechnen. Für die Flutstromtidesteuerung wurde im Vorfeld des Versuchs eine Torsteuerung entworfen, die zu einer möglichst gleichmäßigen Verteilung des Durchflusses im gesamten Querschnitt führen soll. Schädliche Strömungsverhältnisse, so wie diese beim Versuch im August 2010 vorkamen, sind dadurch zu vermeiden.

Bei den durchgeführten Flutstromtidesteuerungen waren in direkter Sperrwerksnähe auf Oldersumer Seite Turbulenzen und an den Dalben Wirbel zu beobachten. Diese gingen aufgrund der gewählten Torsteuerung mit zunehmendem Abstand zum Sperrwerk in eine ruhige und über die gesamte Gewässerbreite verteilte Strömung über, ohne großräumige Wirbel auszubilden. Auf Emders Seite waren keine vergleichbaren Bedingungen in unmittelbarem Sperrwerksbereich zu erkennen. Die Strömungsverhältnisse der Flutstromtidesteuerung führten zu einer örtlich begrenzten Erosion der Schlickauflage, die sich über längere Zeit vor dem Technischen Test auf der befestigten Sohle abgelagert hatte. Es war daher festzustellen, dass dort ausschließlich das auf der Sohlsicherung liegende Sediment abgetragen wurde, die Steinschüttung selber nicht angegriffen wurde. Nach jeder Flutstromtidesteuerung fand eine Kontrollmessung statt. Bereits in der Machbarkeitsstudie zur Tidesteuerung wurde die mögliche Kolkentwicklung im Sperrwerksbereich durch ein Gutachten, das sich auf eine morphodynamische Modellrechnung stützte, prognostiziert. Die dabei berücksichtigte Torsteuerung entsprach der tatsächlich ausgeführten Steuerung, allerdings wurde eine durchweg höhere Tideintensität und über längere Zeit dauerhafte Steuerung zugrunde gelegt. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Randbedingungen stimmte die Gestalt der Erosionsflächen auf Oldersumer Seite grundsätzlich mit dem Ergebnis dieser morphodynamischen Berechnung überein. Allerdings wurde darin angenommen, dass sich die Auskolkungen nicht nur im Abstrom des Sperrwerks (also auf Oldersumer Seite) auftreten, sondern auch im Anstrom. Der Grund dieser Prognose war, dass sich dort kurz vor dem Eintritt in die Sperrwerksöffnungen die Strömung konzentriert und diese dabei

beschleunigt. Dieses kann dazu führen, dass an jeder Stelle dieses Bereichs mehr Sediment abtransportiert als antransportiert wird, was eine Kolkbildung zur Folge haben kann. Zusätzlich zu dieser Prognose kann auch angenommen werden, dass bei häufiger Tidesteuerung die Verlagerung der Hauptströmung dazu führt, dass sich diese ein neues Gerinne schafft. Der für die Emdener Seite prognostizierte Erosionsprozess trat während des Test nicht in Erscheinung. Dieses kann mit der relativ geringen Anzahl der Flutstromtidesteuerungen zu tun haben, die insbesondere auch nicht dazu ausreichte, dass sich die Strömung ein neues Gerinne schuf.

Tore

Wie weit die Lasten und Anregungen der Teilöffnung der Hubtore Auswirkungen auf die Beanspruchung und Tragfähigkeit der Struktur haben, wurden durch Messungen erfasst bzw. Berechnungen ermittelt. Auf dieser Grundlage wurden computergestützte Belastungsanalysen der Festigkeit eines Hubtors durchgeführt sowie die Belastung durch eine dauerhafte Tidesteuerung bei einer kalkulatorischen Restnutzungsdauer der Verschlüsse beurteilt. Dabei wurde das am stärksten belastete Hubtor stellvertretend für alle Nebenöffnungen intensiv beobachtet. Aus den Messdaten lässt sich keine relevante Schwingungsanregung während der Tidesteuerung erkennen. Der Ermüdungsnachweis zeigt, dass infolge der betrachteten Fahrweisen über die kalkulatorische Restnutzungsdauer der Verschlüsse keine Schädigung der Struktur zu erwarten ist.

h. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Wasserstandsverhältnisse der Oberflächengewässer

Tideniedrigwasseranhebung

Die Auswirkungen der Tideniedrigwasseranhebung auf die Wasserstände waren von Dukegat bis Herbrum und im Leda-Jümme Gebiet bis über den Pegel Dreyschloot hinaus nachweisbar.

Die Steuerung führte oberhalb des Emssperrwerks zu einer Anhebung der Tideniedrigwasser bis nach Herbrum und im Leda-Jümme-Gebiet über Dreyschloot hinaus. Der Zeitbereich, über die der Wasserstand gegenüber einer unbeeinflussten Tide erhöht war, begann mit dem beeinflussten Tideniedrigwasser, danach folgte der zügige Anstieg des Wasserstands (Schwall) und dann die „Stauphase“. Oberhalb des geschlossenen Emssperrwerks, wo der Schwall und die sogenannte „Stauphase“ auftraten, wurden die Wasserstandsverhältnisse im Niedrigwasserbereich nur unvollständig durch die Höhe des beeinflussten Tideniedrigwassers charakterisiert, da dieses hauptsächlich den Schließwasserstand repräsentierte und nur für sehr kurze Zeit vorhanden war. Über eine Dauer von rd. zwei Stunden war oberhalb des Emssperrwerks der Wasserstand gegenüber einer unbeeinflussten Tide erhöht. Insbesondere zur Beurteilung der Entwässerung im Freigefälle (Sielzug) war in diesen Abschnitten das sich nach dem beeinflussten Tideniedrigwasser einstellende Wasserstands-niveau sowie die Dauer, über die der Wasserstand über dem einer unbeeinflussten Tide liegt, relevant.

Das Schließen des Emssperrwerks im Ebbstrom führt zur Ausbildung einer Schwallwelle, die sich oberhalb des Sperrwerks in Richtung Herbrum und auch in die Leda fortbewegt. Vor dem Hintergrund der durch den Schiffsverkehr verursachten Wellen führte die Steuerung des Emssperrwerks zu keinen negativen Auswirkungen.

Seewärts des Emssperrwerks führte die Steuerung zu einer Absenkung des Tideniedrigwassers, die sich bis zum Pegel Knock nachweisen ließ. Bei Emden fiel der Wasserstand in dieser zeitlich begrenzten

Sunkwelle zumeist um 40 bis 45 cm. Dabei sank der Wasserstand mit 4-5 cm/min sehr viel schneller als in einer unbeeinflussten Tide (1-2 cm/min). Das Tideniedrigwasser trat anschließend gegenüber dem Referenzfall verfrüht und im Mittel 35 cm niedriger ein. Die schnellen Wasserstandsveränderungen stellten für den Hafen Emden speziell bei der Be- und Entladung eine Einschränkung dar. Die Sunkwelle, die sich unterhalb des Emssperrwerks ausbreitete und in Richtung Außenems auslief, stellte für in Fahrt befindliche Schiffe keine Beeinträchtigung dar. Mit Ausnahme der Schiffe in den Liegewannen des Emdener Außenhafens, war keine Beeinträchtigung der auf den ausgewiesenen Liegestellen der Ems befindlichen Schiffe festzustellen.

Flutstromtidesteuerung

An den Pegeln Dukegat bis Pogum führte die Flutstromtidesteuerung zu einer Erhöhung der Tideniedrigwasser. Im Abschnitt oberhalb des Emssperrwerks traten dagegen niedrigere Tideniedrigwasser ein. Dieses traf auch auf das Leda-Jümme-Gebiet zu. Allerdings lässt sich keine gesicherte Angabe der zu erwartenden Absenkung machen, da lediglich fünf Flutstromtidesteuerungen bei wechselnden Randbedingungen durchgeführt wurden.

i. Auswirkung der Tideniedrigwasseranhebung auf die Grundwasserstände

Der Großteil der Grundwassermessstellen reagierte unmittelbar auf die Tideniedrigwasseranhebung. Diese Reaktion resultierte aus der Kommunikation des Grundwassers mit dem, durch die Tidesteuerung beeinflussten, Oberflächengewässer und lässt mit zunehmender Entfernung zum Emssperrwerk, mit größer werdendem Abstand zu einem tidebeeinflussten Gewässer sowie einer größeren Filtertiefe der Grundwassermessstelle nach. Vor dem Hintergrund der ungewöhnlichen Witterungsverhältnisse mit dem zeitlich und lokal sehr unterschiedlichen Niederschlagsgeschehen sowie der kurze Beobachtungszeitraum lassen sich die beobachteten Wasserstandsschwankungen nicht eindeutig der Tidesteuerung zuordnen und auch keine langfristigen Auswirkungen durch die Steuerung prognostizieren.

Daher wird ein weiteres Monitoring, über einen längeren Zeitraum mit weiteren Messstellen verschiedener Filtertiefen und Entfernungen empfohlen, um auch die Wirkung der Tideniedrigwasseranhebung bis ins Binnenland differenzierter beurteilen zu können. Zudem sollten alle Parameter des Wasserhaushalts lokal erfasst und für die Auswertung herangezogen werden. Ein wichtiger Parameter, der bisher nicht berücksichtigt wurde, ist die Veränderung der Leitfähigkeiten während der Tideniedrigwasseranhebung. Dieser sollte im künftig analog zur Überwachung der Grundwasserstände erfasst werden. Für die Auswertung dieser zahlreichen und komplexen Datengrundlagen wird ein hydrogeologisches Gutachten erforderlich sein.

Ein weiteres Monitoring an der Deponie Breinermoor wird als nicht erforderlich angesehen, da die Messungen zeigten, dass die Tideniedrigwasseranhebung keinen Einfluss auf die Grundwasserstände hat.

Bei einer Flutstromtidesteuerung wird dagegen keine Veränderung der Grundwasserstände erwartet, da das Tidevolumen nur unwesentlich reduziert wird.

j. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Strömungsverhältnisse

Tideniedrigwasseranhebung

Die Tideniedrigwasseranhebung führte in der Unterems zur Ebbstromdominanz. Die Wirkung reichte mindestens bis zur Geisespitze. Die Tideniedrigwasseranhebung reduzierte die maximalen Flutstromgeschwindigkeiten wesentlich stärker als die der Ebbe. Die Steuerung verhinderte vor allem am Anfang der Flutphase die typischerweise hohen Flutstromgeschwindigkeiten.

Oberhalb des Emssperrwerks, in Papenburg, Leerort und Terborg, war zu beobachten, dass durch die Tideniedrigwasseranhebung in der verbleibenden Zeit der Flutphase, die auf das Öffnen der Tore folgte, deutlich niedrigere maximale Flutstromgeschwindigkeiten auftraten als im ungesteuerten Zustand. Darüber hinaus war eine Phase von etwa 2 h zu beobachten, in der sehr geringe Strömungsgeschwindigkeiten vorherrschten. Die maximalen Ebbstromgeschwindigkeiten waren von der Tideniedrigwasseranhebung dagegen kaum betroffen. Damit ergab sich eine günstige Änderung des Verhältnisses von Flut- zu Ebbgeschwindigkeiten - eine deutlichen Ebbstromdominanz.

Unterhalb des Emssperrwerks, in Emden, stellte sich ebenfalls eine eindeutige Ebbstromdominanz ein. Selbst nahe der Geisespitze wurde noch eine Ebbstromdominanz bewirkt, die allerdings weniger stark war als noch in Emden.

Da es durch die Tideniedrigwasseranhebung insbesondere zu einer Reduzierung der maximalen Flutstromgeschwindigkeiten beim Einsetzen des Flutstromes kam, konnte auch in Bezug auf die Schwebstoffgehalte während der Flutphase die deutlichste Reduzierung der Schwebstoffkonzentrationen beobachtet werden. Auch wenn die darauffolgende Tide nicht gesteuert wurde war die vertikale Durchmischung noch teilweise reduziert. Die transportierten Mengen wurden durch die Steuerung während des Flutstroms reduziert, da die Zeiträume mit transportrelevanten Strömungsgeschwindigkeiten kürzer waren und weniger Material in die Wassersäule eingemischt wurde. Aber auch während des Ebbstrom war eine geringere Schwebstoffkonzentration zu beobachten. Durch die starke Verminderung des flutseitigen Transports ergab sich letztlich eine deutliche Ebbstromdominanz des Sedimenttransports in den gesteuerten Tiden.

Das vollständige Verschließen des Durchflussquerschnittes bei Ebbstrom führte zur Ausbildung einer Sunkwelle, die sich vom Emssperrwerk in Richtung Emden/Außenems bewegte sowie zur Bildung einer Schwallwelle, die von Gandersum in Richtung Herbrum lief. Aus den Strömungsmessungen ergaben sich keinerlei Hinweise auf eine signifikante Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten, die den Schiffs- oder Sportbootverkehr gefährden könnten.

Im Nahfeld des Emssperrwerks wurden die maximalen Flutstromgeschwindigkeiten gegenüber dem Referenzzustand deutlich reduziert.

Flutstromtidesteuerung

Die Reduktion der transportwirksamen hohen Flutstromgeschwindigkeiten ist die Hauptwirkung der Flutstromtidesteuerung. Die Reduktion stellt sich in Abhängigkeit vom gewählten Verschlussgrad des Emssperrwerks ein und ist damit regelbar. Die eingetretene Wirkung war im Nahfeld des Emssperrwerks am größten und nahm in Richtung Papenburg deutlich ab. Die Reduktion der Strömungsgeschwindigkeiten durch die Tideniedrigwasseranhebung war im Vergleich dazu bedeutend größer. Anders als bei der Tideniedrigwasseranhebung fehlt bei der Flutstromtidesteuerung der

Zeitraum von ca. 2 h, in dem das Sperrwerk komplett verschlossen ist und ganz geringe Strömungsgeschwindigkeiten in der Unterems auftreten.

Im Nahfeld des Emssperrwerks führte die Flutstromtidesteuerung geringe bis keine Abnahmen der Geschwindigkeiten gegenüber unbeeinflussten Tideverhältnissen. Im unmittelbaren Bauwerksbereich, d.h. in weniger als 150 m Distanz, war von erhöhten Flutstromgeschwindigkeiten auszugehen. Hierzu lassen sich aus den durchgeführten Messungen jedoch keine Aussagen ableiten.

k. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Außenmuhden

Die vorliegenden Ergebnisse beruhen nur auf einer Vor- und einer Nachmessung, die in einem zeitlichen Abstand von zwei bis drei Monaten durchgeführt wurden. Im betreffenden Zeitraum gab es Phasen mit stärkerem Wind und es traten sogar leichte Sturmfluten auf. Aus der Vielzahl der Einflussfaktoren ergibt sich eine starke Variabilität des Sedimentationsverhaltens. Im Weiteren ist davon auszugehen, dass die Sedimentationsvorgänge saisonal schwanken. Vor diesem Hintergrund lassen die vorliegenden Messergebnisse die Umlagerung in den Muhden selbst und den Ein- bzw. Austrag von Sediment nicht der intermittierenden Tidesteuerung zuordnen.

Werden die in den Muhden festgestellten Höhendifferenzen vorbehaltlich der großen Streuung der Messwerte als Resultat des Nettotransports interpretiert, wäre in den meisten Fällen zwischen der Vor- und der Nachmessung ein leichter Eintrag zwischen 0 und 5 cm und an der Knock sogar von 30 cm anzunehmen. Jedoch wäre in einigen Muhden dann aber auch ein Austrag von mehr als 20 cm vorhanden gewesen. Anhand des Nettoeintrags bzw. –austrags unterscheiden sich die oberhalb des Emssperrwerks befindlichen Muhden nicht grundlegend von denen unterhalb des Bauwerks, obwohl dieses grundsätzlich anzunehmen wäre. Insbesondere ist der relativ hohe Eintrag an der Knock nicht auf die ebenfalls unterhalb des Sperrwerks befindlichen Ausläufe Borßum, Ditzum und Petkum zu übertragen, wo sich die mittlere Höhenlage entweder kaum änderte oder sogar deutlich abnahm.

Um die von der Tidesteuerung verursachte Sedimentation bzw. Erosion generell von den natürlichen Transportvorgängen unterscheiden zu können, wäre eine längere Beobachtungsdauer erforderlich, z.B. über turnusmäßige Flächenpeilungen.

l. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Sielentwässerung

Während des Technischen Tests war oberhalb des Emssperrwerks stets ein zeitnaher Sielzug bei unbeeinflusster Vorflut möglich, da die Tideniedrigwasseranhebung in intermittierender Form ausgeführt wurde. Eine reale Beeinträchtigung des Sielbetriebs bestand daher nicht. Selbst bei extremen Randbedingungen (hoher Außenwasserstand und hohe Abflussspende in den Einzugsgebieten der Mündungsbauwerke) wäre keine Gefahrensituation zu befürchten gewesen. Der Zeitbereich, über den der Wasserstand gegenüber einer unbeeinflussten Tide erhöht war, betrug im Mittel rd. 2 Stunden. Mit Ausblick auf einen möglichen Dauerbetrieb der Tideniedrigwasseranhebung wäre eine größere Aufmerksamkeit in den Übergangszeiten (Oktober / November und März / April) geboten, in denen einerseits noch eine Tidesteuerung sinnvoll sein kann, andererseits aber bereits höhere Abflussspenden vorhanden sein können. In diesen Zeiten ist bei Bedarf in Rücksichtnahme auf die Gebiete, die ausschließlich mit einem Siel entwässert werden und über kein Schöpfwerk verfügen, ein rasches Ändern des Betriebsplans mit Anpassung an die aktuellen hydrologischen Randbedingungen erforderlich.

Sielentwässerung entlang der Ems

In den vergangenen Jahrzehnten haben die Höhen der Tideniedrigwasser in der Unterems oberhalb von Emden aufgrund der Ausbaumaßnahmen abgenommen. Die Wasserstandsanhhebung durch die Tidesteuerung entsprach in Herbrum und Papenburg in etwa dem Maß, um das sich der Tideniedrigwasserstand in dem betreffenden Abschnitt in den letzten 50 Jahren abgesenkt hatte. Unterhalb von Papenburg war die Wasserstandsanhhebung größer als die zurückliegende Absenkung. An der Knock stieg in der Vergangenheit das Tideniedrigwasser auf natürlichem Wege leicht an. Die Tideniedrigwasseranhebung verursachte in diesem Abschnitt dagegen eine leichte Absenkung des Niedrigwasserstandes, was dem natürlichen Trend an der Knock entgegenstand.

Sielentwässerung im Leda-Jümme-Gebiet

In den vergangenen Jahrzehnten haben die Höhen der Tideniedrigwasser im Leda-Jümme-Gebiet abgenommen, woraus sich günstigere Umstände für die Sielentwässerung ergaben. Die Wasserstandsanhhebung entsprach in etwa dem Maß, um das sich die Tideniedrigwasserstände in den letzten 50 Jahren absenkte. In der unteren Leda war die Wasserstandsanhhebung größer als die zurückliegende Absenkung.

m. Auswirkung der Tidesteuerung auf den Hochwasserschutz im Leda-Jümme-Gebiet

Durch die Absenkung des Tideniedrigwassers, die sich in den letzten Jahrzehnten durch den Ausbau der Ems ergab, nahm im Gegenzug die Größe des Flusstauraums zu. Dem steht zwar eine Abnahme des Flusstauraums durch eine Verschlickung und Verschlammung gegenüber, diese dürfte jedoch geringer sein als die Volumenänderung durch das sehr deutliche Absinken der Tideniedrigwasserstände. Im heutigen Zustand steht während eines Hochwasserfalls ein tendenziell größerer Stauraum im Gewässersystem zur Verfügung als in der Vergangenheit.

Ausblickend auf einen Dauerbetrieb der Tideniedrigwasseranhebung ist festzustellen, dass im Zeitraum von Mai bis September auf den dann vorhandenen meteorologischen Randbedingungen keine Beeinträchtigung des Hochwasserschutzes durch die Tideniedrigwasseranhebung zu erwarten ist. Im Zeitraum von Anfang Oktober bis einschließlich April ist jedoch eine höhere Vorsicht geboten und die Tideniedrigwasseranhebung stets durch eine Prognose der Windverhältnisse (Windstau) sowie der Niederschlags- und Abflusssituation im Leda-Jümme-Gebiet zu begleiten. Zur Sicherheit sollte die Tidesteuerung in den Übergangszeiten auf ein Minimum zurückgefahren werden, sobald sich eine Phase erhöhter Tideniedrigwasserstände ankündigt, insbesondere, wenn zusätzlich zu den erhöhten Wasserständen ergiebige Niederschläge vorhergesagt werden. Die Phase des Technischen Tests, von Ende Juni bis Mitte August, befand sich in einem Zeitraum, in dem der Eintritt eines Hochwasserereignisses unwahrscheinlich ist.

n. Auswirkung der Tidesteuerung auf die Tideniedrigwasserproblematik im Leda-Jümme-Gebiet

Die Änderung der hydrologischen Randbedingungen und die durch den Fahrwasserausbau abnehmenden Tideniedrigwasserstände in der Unterems führten in den letzten Jahrzehnten in den oberen Abschnitten der tidebeeinflussten Gewässer zum häufigeren Eintritt außergewöhnlich niedriger Pegelstände. Dieses trifft für das abflussärmere Sommerhalbjahr und, im Zusammenhang mit der Betriebsweise des Ledasperrwerks, auch auf die Monate Oktober und November zu. In den betreffenden Gewässerabschnitten ist eine Vermeidung außergewöhnlich niedriger Wasserstände

gewünscht und daher die Anhebung bzw. Stützung des Tideniedrigwassers willkommen. Hier ist besonders das Aperi Tief zu nennen, in dem die außergewöhnlich niedrigen Wasserstände u.a. aus Sicht der Ökologie kritisch zu bewerten sind. Die betroffenen Abschnitte profitierten von der Tideniedrigwasseranhebung des Technischen Tests, da unter unbeeinflussten Bedingungen häufiger niedrigere Wasserstände eingetreten wären. Bei einer dauerhaften Tideniedrigwasseranhebung würde die Anzahl der extremen Tideniedrigwasser vermindert und zudem auch deren Eintrittswahrscheinlichkeit reduziert.

o. Auswirkung der Tidesteuerung auf den Sportbootverkehr im Leda-Jümme-Gebiet

Seitens der Sportschiffahrt im Leda-Jümme-Gebiet besteht sowohl Interesse an niedrigen als auch hohen Tideniedrigwasserständen. Eine Anhebung des Tideniedrigwasserstandes erleichtert einerseits die Befahrbarkeit der Gewässer, andererseits kann diese die Durchfahrt unter den festen Brücken im Leda-Jümme-Gebiet begrenzen, wie z.B. in der Ortschaft Stickhausen, wo die feste Straßenbrücke (Burgstraße) und die Eisenbahnbrücke (Linie Leer-Oldenburg) den Nordgeorgsfehkanal queren.

Entsprechend der astronomischen und witterungsbedingten Einflussfaktoren unterliegen die Tidewasserstände einer natürlichen Schwankung. Hinzu kommt die Beeinflussung durch den Betrieb des Ledasperrwerks. Eine Tidesteuerung würde bei hohen Wasserständen im Leda-Jümme-Gebiet, verursacht durch hohes Oberwasser und/oder Windstau, pausieren. Die geringen Durchfahrtshöhen unter den festen Brücken würden daher nur durch die natürlichen Umstände hervorgerufen. Unter den Umständen, die zu sehr niedrigen Wasserständen führen, würde allerdings häufig eine Steuerung erfolgen, so dass in diesen Fällen niedrigere Durchfahrtshöhen vorhanden wären, als unter natürlichen Umständen zu erwarten.

IV. Schlussfolgerungen

Das Emssperrwerk ist technisch zur Tideniedrigwasseranhebung und zur Flutstromtidesteuerung geeignet. Während des Technischen Tests wurden weder am Bauwerk selbst noch an der Sohlsicherung Schäden durch die Steuerung verursacht. Bei einer dauerhaften Anwendung der Flutstromtidesteuerung wird die Verstärkung der Sohlsicherung empfohlen, die Tideniedrigwasseranhebung macht dieses nicht erforderlich.

Mit der Tideniedrigwasseranhebung nahmen die Schwebstoffkonzentrationen und auch die Salzgehalte deutlich ab, die Sauerstoffwerte stiegen deutlich an. Der mobile Flüssigschlick wurde vermindert und die vormals eindeutig flutstromdominanten Strömungsverhältnisse der Unterems wurden in eine Ebbstromdominanz umgekehrt, wodurch eindeutig ein positiver Einfluss auf den Sedimenttransport ausgeübt wurde. Die Flutstromtidesteuerung wurde nur sehr kurz getestet, allerdings zeichnete sich in den Ergebnissen ebenfalls der positive Effekt auf die o.g. Parameter ab.

Eine Flexible Tidesteuerung würde in saisonaler Ausführung zur Verbesserung der Gewässergüte führen sowie den Erhalt der Bundeswasserstraße Ems als leistungsfähigen Verkehrsweg für die Emshäfen sowie für die hafenauffine und wasserstraßenauffine Wirtschaft gewährleisten.

V. Was lernen wir für die Zukunft?

Die Tidesteuerung muss nur saisonal angewendet werden und wird bei Überschreitung eines kritischen Oberwassers, vornehmlich im Winterhalbjahr, nicht erforderlich sein. Es wird empfohlen, die Tidesteuerung möglichst nicht länger als eine Tide auszusetzen. In Ausnahmen kann aber auch in zwei direkt aufeinanderfolgenden Tiden die Steuerung pausieren. Darüber hinaus ist es vorteilhaft, über eine bestimmte Dauer zu Beginn der Steuerungsphase sowie auch in der Springphase jede Tide zu steuern. Ein unmittelbarer Wechsel von Tideniedrigwasseranhebung und Flutstromtidesteuerung ist wenig sinnvoll. Allerdings ist eine phasenweise Anwendung der jeweiligen Variante in Abhängigkeit des Oberwassers denkbar und soll in die Entwicklung zukünftiger Steuerungsszenarien berücksichtigt werden. Zudem bietet ein zukünftiger Dauerbetrieb die Möglichkeit der weiteren Optimierung der flexiblen Tidesteuerung.

Eine dringende Aufgabe ist, die von der Tideniedrigwasseranhebung ausgehende Beeinträchtigung der Bewirtschaftung des Emdener Außenhafens zu lösen. Zudem sind mit den Entwässerungsverbänden die Ergebnisse zur Wasserstandsanhhebung und der möglichen Zunahme des Unterhaltungsaufwands der Außenmuhden zu diskutieren.

Aurich, den 28.02.2022

Andreas Engels

