

Nachhaltige Schifffahrt (3.2)

Auswirkungen des JadeWeserPorts auf die Tide- und Morphodynamik der Jade

Dr.-Ing. Andreas Kahlfeld

Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg

Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf

Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg

1. Einleitung

In der Innenjade ist vor dem Voslapper Groden der Bau des JadeWeserPorts mit einer Stromkaje von 1.725 m nutzbarer Länge und einer Sollsohlentiefe von NN -20,10 m geplant (s. Bild 1). Anlässlich der Umweltverträglichkeitsprüfung zum Planfeststellungsverfahren nach Bundeswasserstraßengesetz und Bundesberggesetz wurden die Auswirkungen des Vorhabens auf die Tidedynamik und die Morphodynamik der Jade von der Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg (BAW-DH), im Auftrag der JadeWeserPort Entwicklungsgesellschaft mbH mit einer wasserbaulichen Systemanalyse untersucht. Gegenstand der wasserbaulichen Systemanalyse war die Ermittlung und Bewertung von Veränderungen so genannter abiotischer Systemparameter (z.B. Tidekennwerte wie Tidehub, Tidewasserstände, Strömungsgeschwindigkeiten etc.). Dies geschieht durch Gegenüberstellung von Modellergebnissen für den Referenz- und den Ausbauzustand in Ver-



Bild 1: JadeWeserPort

bindung mit wasserbaulichem Systemverständnis. Für die Kalibrierung und Validierung der eingesetzten hydro- und morphodynamischen numerischen Modellsysteme (kurz: HN-Modelle) Untrim3D / Telemac2D und SediMorph wurden umfangreiche Naturmessungen durchgeführt, um die gestiegenen Ansprüche an die Prognosefähigkeit der verwendeten Modelle im Genehmigungsverfahren erfüllen zu können. Auf dieser

Grundlage konnte der Nachweis der Naturähnlichkeit der verwendeten Modelle erfolgreich geführt werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Auswirkungen des geplanten JadeWeserPorts auf die Tide- und Morphodynamik der Jade darzustellen. Entsprechend der Untersuchungsgebiete werden zuerst die Nachweise der Naturähnlichkeit für die Bereiche Tidedynamik sowie Sediment- und Morphodynamik erbracht. Anschließend folgen einige wesentliche Ergebnisse zu den Auswirkungen des JadeWeserPorts in der Jade.

2. Modellgebiet, Gitternetz und Modellsteuerung

Die geographische Ausdehnung des verwendeten HN-Modells deckt den durch die Planfeststellungsbehörden festgelegten Untersuchungsraum ab und umfasst den Jadebusen, die Innenjade, die Außenjade, die Unterweser sowie die Außenweser (s. Bild 2).

Um das Modell auch für Sturmflutuntersuchungen verwenden zu können, entspricht der geschlossene landseitige Rand der Deichlinie. Der offene seeseitige Rand verläuft von Spiekeroog bogenförmig durch die Deutsche Bucht bis nach Sahlenburg westlich von Cuxhaven. Das Modellgebiet wurde so großflächig gewählt, damit sichergestellt werden konnte, dass zu erwartende ausbaubedingte Änderungen infolge des JadeWeserPorts innerhalb des Modellgebietes abklingen und somit nicht durch die Randsteuerung beeinflusst werden.

Die Modelltopographie basiert in der Innenjade und im Jadebusen auf Peilungen der Jahre 2000 und 2001 (Fächerecholotpeilungen, Linienpeilungen, Befliegungen). Die Peildaten für die Bereiche Unter- und Außenweser stammen aus den Jahren 1998 und 2000. Für

die Restbereiche wurde z.T. auf ältere Topographiedaten aus einem vorhandenen Digitalen Geländemodell (DGM) der BAW-DH zurückgegriffen, die teilweise bis in das Jahr 1992 zurückreichen. Bei den Restbereichen handelt es sich überwiegend um Flächen in der Nordsee, die geringen morphologischen Änderungen unterworfen waren und auch keinen signifikanten Einfluss auf das Gesamtergebnis der ausbaubedingten Änderungen der Tide- und Morphodynamik hatten. Die Fahrrinnen der Weser und der Jade wurden mit ihren planfestgestellten Ausbautiefen in der Modelltopographie berücksichtigt.

Das Gebiet wurde für die 3D-Untersuchungen durch ca. 3 Mio. Elemente mit einer vertikalen Auflösung von 1 m (unterhalb

von NN -30,00 m wurde eine vertikale Auflösung von 2 m gewählt.) und einer horizontalen Auflösung zwischen ca. 10 m und 2.200 m nachgebildet. Fein aufgelöst wurde insbesondere die Innenjade, um die Prozesse im Nahbereich des JadeWeserPorts naturnah nachbilden zu können.

Für die Steuerung des Modells wurden Randwerte verwendet, die hinsichtlich der Strömungen und Was-

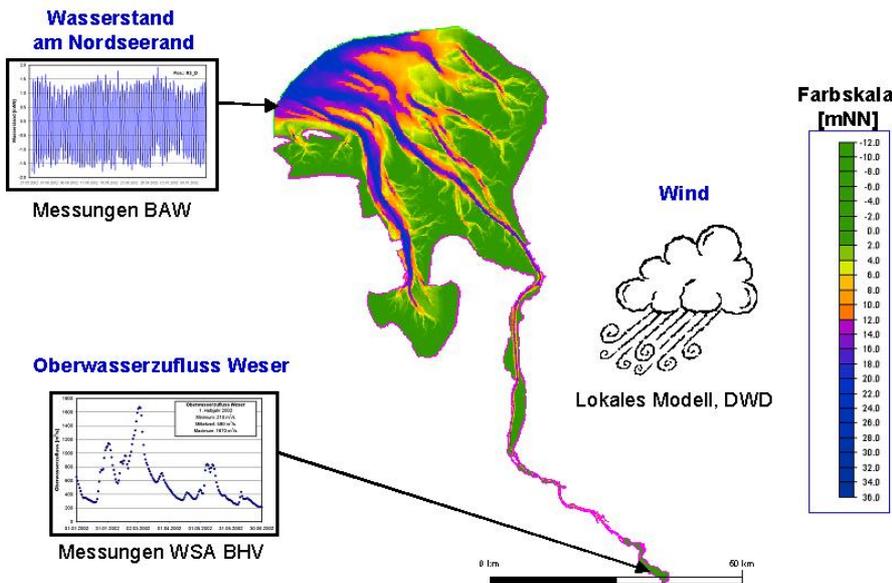


Bild 2: Schematische Übersicht des Modellgebietes sowie der in der Modellsteuerung berücksichtigten Randwerte

serstände einen charakteristischen Systemzustand der Jade repräsentieren und den Zeitraum eines Nipp-Spring-Zyklus abdecken. Als Simulationszeitraum wurde der 31.5.2002 bis 15.6.2002 gewählt, als Analysezeitraum der 02.06.2002 bis 14.06.2002. Es wurden die folgenden Daten für die Simulationen verwendet (s. Bild 2):

- Wasserstände am offenen, seeseitigen Modellrand, die während des Simulationszeitraumes auf dem Modellrand gemessen wurden,
- tägliche Mittelwerte des Oberwasserzuflusses für den Simulationszeitraum am Pegel Intschede,
- stündliche Winddaten aus dem Lokalen Modell (LM) des Deutschen Wetterdienstes (DWD), die vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) zur Verfügung gestellt wurden.

Weitere Zuflüsse zum Jade-Weser-Ästuar wurden nicht berücksichtigt, da sie keinen nennenswerten Beitrag zur Tidedynamik der Innenjade liefern und somit ohne Verlust der Prognosefähigkeit in der Modellierung vernachlässigt werden können.

3. Nachweis der Naturähnlichkeit

3.1 Tidedynamik

Durch Vergleich gemessener und berechneter Wasserstände und Strömungsgeschwindigkeiten wurde gezeigt, dass durch das HN-Modell alle charakteristischen Systemeigenschaften des Jade-Weser-Ästuars naturähnlich nachgebildet werden können. Der Nachweis der Naturähnlichkeit wurde hinsichtlich der Wasserstandsdynamik für die gewässerkundlichen Pegel Schillig (SLG), Hooksiel (HOO), Voslapp (VLP), Wilhelmshaven Neuer Vorhafen (WNV) und Wilhelmshaven Alter Vorhafen (WAV) sowie hinsichtlich der Strömungsdynamik für vier Dauerstromstationen (WSA 1 bis 4) des Wasser- und Schifffahrtsamtes (WSA) Wilhelmshaven geführt (s. Bild 3). Der Vergleich der Wasserstandszeitreihen ist beispielhaft für den Pegel Wilhelmshaven Neuer Vorhafen in Bild 4 und der Vergleich der Strömungszeitreihen

reihen beispielhaft für die Position WSA 4 in Bild 5 dargestellt.

Der Vergleich der Wasserstandszeitreihen in der Innenjade hat eine Standardabweichung zwischen Messung und Rechnung von 2,8 cm (Pegel Wangerooe Nord) bis 7,2 cm (Pegel Wilhelmshaven Alter Vorhafen) ergeben, was auf eine sehr gute Naturähnlichkeit des verwendeten Modells hinweist. Auch der Vergleich der Strömungszeitreihen für die vier Messstationen in der Innenjade zeigt eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Messdaten und Rechenergebnissen. Die Standardabweichung für den Vergleich der Strömungsgeschwindigkeiten liegt zwischen 8,4 cm/s (WSA 4) und 10,7 cm/s (WSA 3). Der Vergleich der Strömungszeitreihen wurde auf der Grundlage von gemessenen und berechneten Strömungsgeschwindigkeiten in einer Höhe von rd. 3 m über Grund durchgeführt, wobei die berechneten Strömungsgeschwindigkeiten einen Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeit über eine Zellenhöhe von 1 m darstellen.

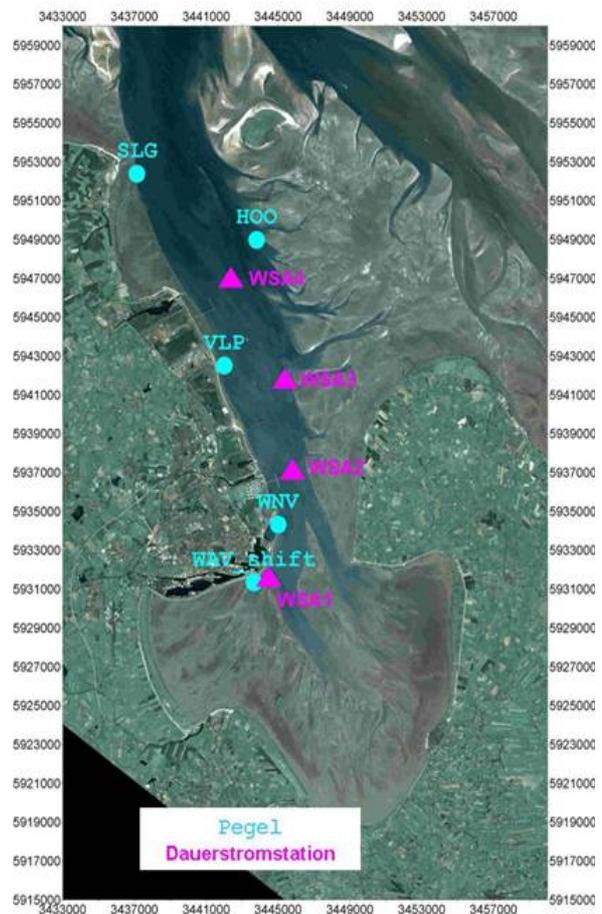


Bild 3. Standorte der Pegel und Dauerstromstationen (Foto: DLR)

Umweltfragen (3)

Auswirkungen des JadeWeserPorts auf die Tide- und Morphodynamik der Jade

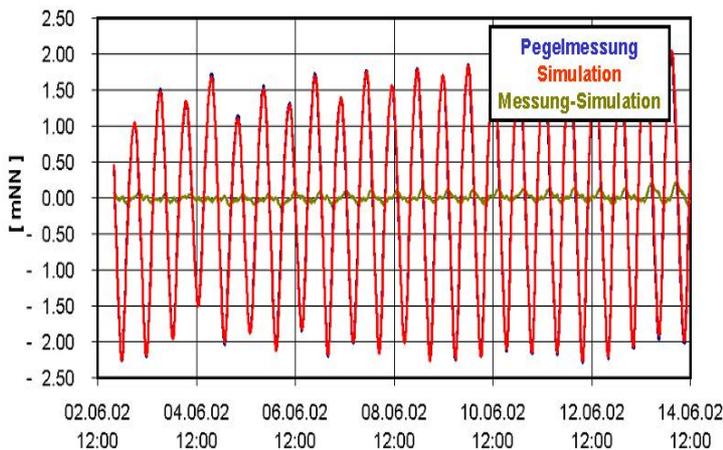


Bild 4: Vergleich der gemessenen und berechneten Wasserstandszeitreihen für den Pegel Wilhelmshaven Neuer Vorhafen

Abweichungen zwischen Mess- und Berechnungsergebnissen können im Wesentlichen auf nicht erfasste lokale Windeffekte, Abweichungen in der Modelltopographie aufgrund der zeitlichen Differenz zwischen Pegel-(Strömungs-)messung und Peilung, Lageänderungen der Strömungsmessgeräte bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten, Ungenauigkeiten in der Pegel- und Strömungsmessung etc. zurückgeführt werden.

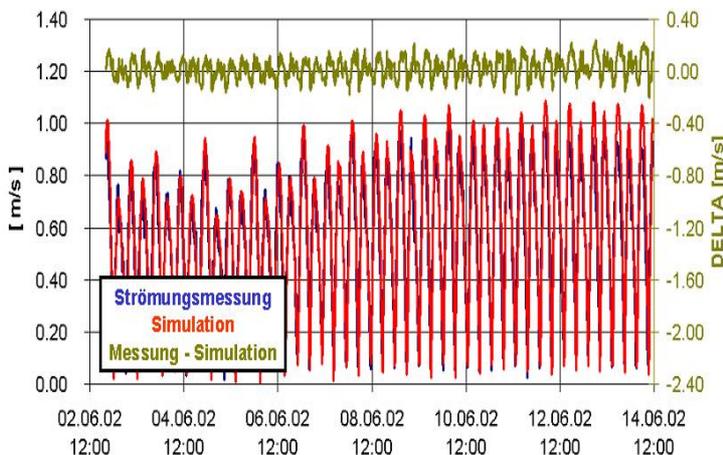


Bild 5: Vergleich der gemessenen und berechneten Strömungsgeschwindigkeiten für die Dauerstrommessstation 4 (WSA 4)

3.2 Morphodynamik

Im dynamischen Gleichgewichtssystem des Untersuchungsgebietes „Jade-Weser-Ästuar“ sind Verteilung und Eigenschaften der Oberflächensedimente Bestandteil der widerstehenden Kräfte. Zu den Sedimenteigenschaften zählen beispielsweise Erosionswiderstand, Sinkgeschwindigkeit, Korndichte, Kornverteilung, Kohäsion und Lagerungsdichte. Obwohl die Sedimente im Untersuchungsgebiet heterogen verteilt sind, lassen sich charakteristische Bereiche grob unterscheiden:

- Periodisch trockenfallende Bereiche (Wattböden des Euliterals: Sand-, Misch und Schlickwatten als Hauptwatt-Typen)
- Wasserbenetzte Bereiche (Flachwasserzonen, Fahrwasser und andere tiefe Rinnen)

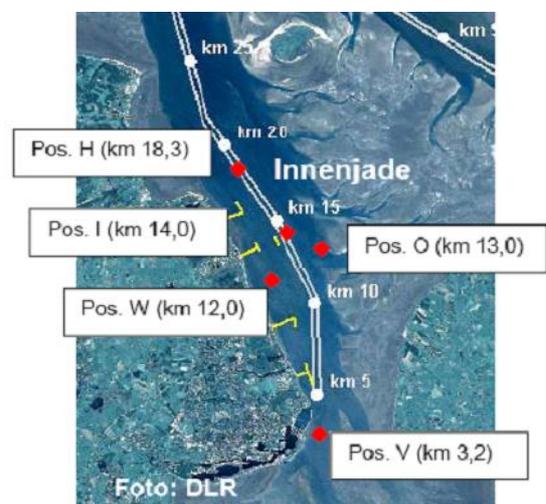
- Sonstige Einheiten (Schill- und Muschelbänke, Vegetationsbestände)

Für die wasserbauliche Systemanalyse mussten die vielfältigen Facetten der natürlichen Oberflächensedimentstruktur des Jade-Weser-Ästuars in ein vereinfachtes synthetisches Ersatzsystem überführt werden. Ausgehend von aktuellen Sedimentproben, erhoben durch:

- Niedersächsisches Landesamt für Ökologie für die Wattgebiete,
- WSA Wilhelmshaven für das Jade-Fahrwasser,
- WSA Bremerhaven für das Weser-Fahrwasser,
- JadeWeserPort Entwicklungsgesellschaft mbH (bzw. BioConsult GbR, Bremen) für die Innenjade,
- BAW-DH für die Außenjade,

wurde das Gesamtgebiet über einen Interpolationsalgorithmus in Einzelflächen mit naturähnlicher Sedimentstruktur aufgeteilt, wobei die vorherrschenden Kornfraktionen Mittelschluff, Grobschluff, Feinsand, Mittelsand, Grobsand verwendet wurden. In den künstlich vertieften Bereichen des Ausbauzustandes wurde die vorherige Sedimentbelegung des Referenzzustandes weiter verwendet. Die Einsteuerung der tiefengemittelten Suspensionskonzentration am seeseitigen Modellrand erfolgt über den Ansatz der Gleichgewichtskonzentration. In einem weiteren Schritt wurden die simulierten Schwebstoffkonzentrationen in der Jade mit gemessenen Schwebstoffgehalten verglichen (s. Bild 6 und 7).

In der Jade schwingt die Schwebstoffwolke mit der Tide im Bereich von Minsener Oog bis in die tiefen Rinnen des Jadebusens (s. Bild 7). Die Modellergebnisse zeigen dabei signifikant höhere Schwebstoffgehalte westlich der Fahrrinne und niedrigere Schwebstoffkonzentrationen östlich der Fahrrinne. Die mittleren Schwebstoffkonzentrationen erreichen im Modell Werte von bis zu $0,150 \text{ kg/m}^3$ (= 150 mg/l). Dies entspricht von



Umweltfragen (3)

Auswirkungen des JadeWeserPorts auf die Tide- und Morphodynamik der Jade

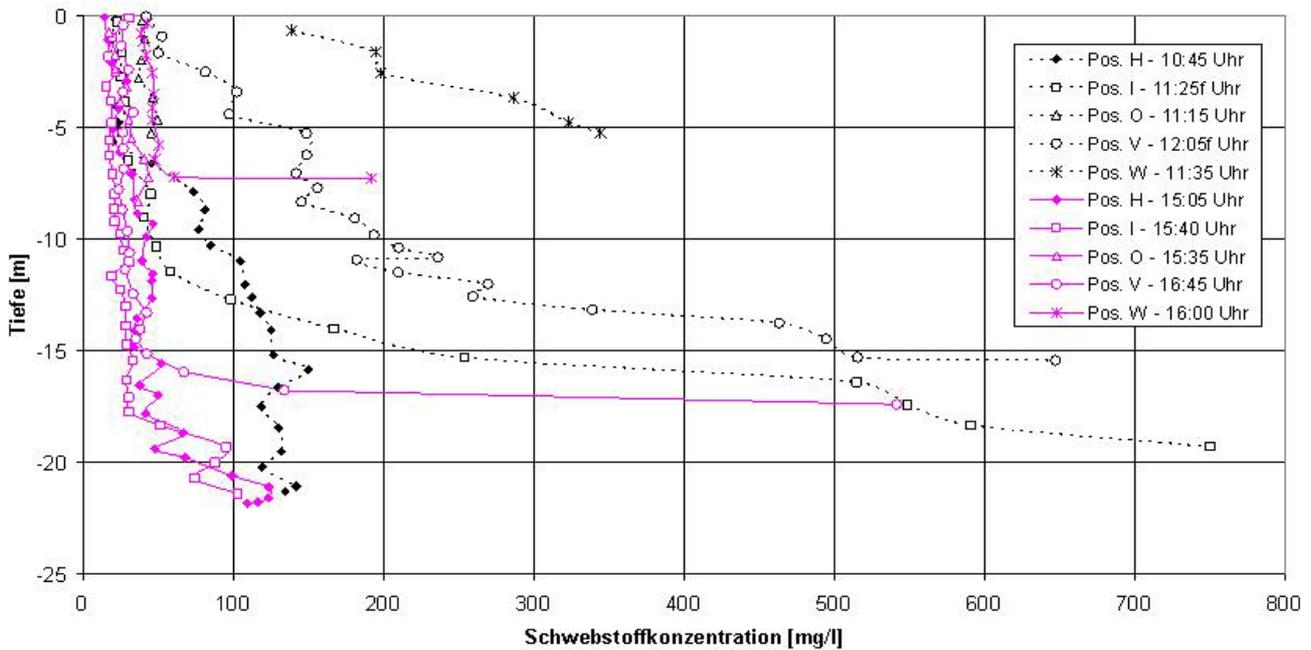


Bild 6: Gemessene Schwebstoffkonzentrationen in der Innenjade bei Flutstrom (gestrichelte Linien) und Flutstromkenterung der Springtide vom 21.03.2003 (Ingenieurbüro Visscher, Burgwedel, 2003)

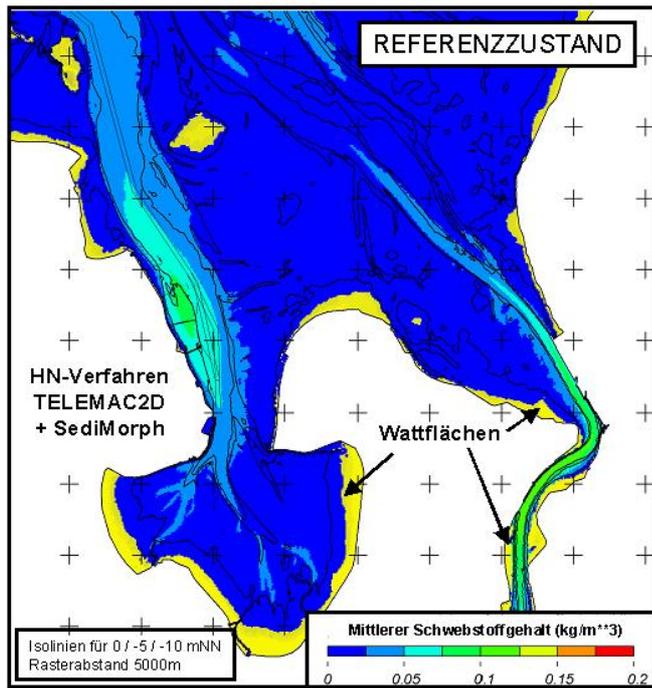


Bild 7: Gerechneter mittlerer Schwebstoffgehalt im Analysezeitraum für den Referenzzustand

der Größenordnung her den gemessenen mittleren Konzentration in Bild 6. Ein direkter Vergleich von gemessenen und berechneten Schwebstoffkonzentrationen war nicht möglich, da der Messzeitraum der Schwebstoffmessungen nicht dem Simulationszeitraum entsprach. Ferner veranschaulichen die Ergebnisse im Referenzzustand, dass sich in der Unterweser die typische Trübungszone bei den Modellrechnungen eingestellt hat. Die Trübungszone der Unterweser schwingt mit dem Flut- und Ebbestrom zwischen Sandstedt und

Langlütjen-Nordsteert. Diese Ergebnisse stimmen gut mit der beobachteten charakteristischen Trübungszone der Weser überein.

4. Hydraulische Wirkungsweise des JadeWeser-Ports und morphologische Folgereaktionen

Die großräumigen ausbaubedingten Änderungen der abiotischen Systemparameter infolge des JadeWeser-Ports ergeben sich aus der nichtlinearen Überlagerung der verschiedenen Einzeleffekte, die im Ausbauzustand durch das verlegte Fahrwasser, den Zufahrtsbereich, die Kajenlage und die Bauwerksflanken verursacht werden. Aufgrund der Komplexität der Topographie des Jade-Weser-Ästuars sowie der nichtlinearen physikalischen Prozesse bei der Ausbreitung einer Tidewelle ist eine einfache lineare Überlagerung der jeweiligen hydraulischen Wirkungen der einzelnen Elemente des JadeWeserPorts nicht möglich, sondern kann nur auf der Grundlage eines hochauflösenden hydrodynamisch-numerischen Modells vorgenommen werden, das sowohl die komplexe Topographie als auch die nichtlinearen physikalischen Prozesse berücksichtigt. Dies gilt insbesondere, wenn die Auswirkungen einzelner Elemente wie z.B. die Auswirkungen infolge Fahrwasser-Verlegung/Hafenzufahrt und Kajenlage gegenläufig sind und somit die großräumigen ausbaubedingten Änderungen minimiert werden können. Hieraus folgt (s. Bild 8 und 9),

- dass sich die ausbaubedingten Änderungen aufgrund der gegenläufigen physikalischen Wirkung von Vertiefung (Fahrwasser und Zufahrt) und Verengung (Kajenvorbau) auf den Nahbereich des JadeWeserPorts konzentrieren,
- dass es aufgrund des veränderten Schwingungsverhaltens zu einer Zunahme des Tidehubs im Bereich der südlichen Bauwerksflanke und zu einer Abnahme des Tidehubs im Bereich der nördlichen Bauwerksflanke kommt,

Umweltfragen (3)

Auswirkungen des JadeWeserPorts auf die Tide- und Morphodynamik der Jade

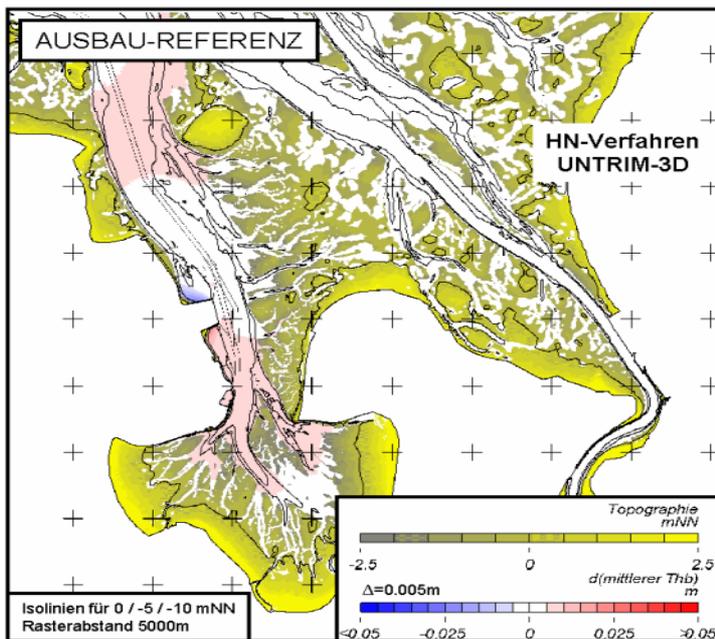


Bild 8. Ausbaubedingte Änderungen des Tidehubs

- dass die Strömungsumlenkung an den Bauwerksflanken sowohl die Wasserstände als auch die Strömungsgeschwindigkeiten lokal beeinflusst,
- dass es im Strömungsschatten des Bauwerks bei vollentwickelter Flut- und Ebbeströmung zu Strömungswalzen kommt,
- dass sich die an den Bauwerksflanken umgelenkte Strömung an den Ecken der Kaje ablöst und somit vor der Kaje eine Zone geringer Strömungsgeschwindigkeiten entsteht.
- dass sich die Strömungsgeschwindigkeiten außerhalb der Zone geringer Strömungsgeschwindigkeiten unmittelbar vor der Kaje aufgrund der Einschnürung des Querschnitts erhöhen.

Da die morphodynamischen Reaktionen ein Ergebnis der ausbaubedingten Änderungen der Tidedynamik sind, bedeutet dies hinsichtlich von Erosions- und Sedimentationstendenzen (s. Bild 10):

- eine Konzentration morphodynamischer Reaktionen auf den Nahbereich des JadeWeser-Ports
- Sedimentationen im Schatten der Bauwerksflanken aufgrund der reduzierten Strömungsgeschwindigkeiten
- Kolkbildungen im Bereich der Kajenenden aufgrund erhöhter Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzbildung
- eine Abflachung der Böschungsbereiche zwischen Zufahrtsbereich und ungestörter Gewässersohle
- Sedimentation unmittelbar vor der Kaje aufgrund der Strömungsablösungen an den Kajenenden
- Erosionstendenzen im Bereich des verlegten Fahrwassers sowie Teilen des Zufahrtsbereichs durch Einschnürung des Tidequerschnittes

- deutliche Verringerung des Schwebstoffgehaltes in der Innenjade westlich der Fahrrinne (s. Bild 11) aufgrund der großflächigen Sedimentation in den Schattenbereichen des Hafens sowie der Verringerung des Sedimentangebotes für den Transport (Aufspülung der Hafensfläche mit Uferbefestigung)

5. Zusammenfassung

In der Innenjade ist vor dem Voslapper Groden der Bau des JadeWeserPorts geplant. Aufgrund seiner Dimensionen (1.725 m Kajenlänge und Sollsohlentiefe von NN-20,10 m) wurde eine wasserbauliche Systemanalyse durchgeführt, um die Auswirkungen des Bau-

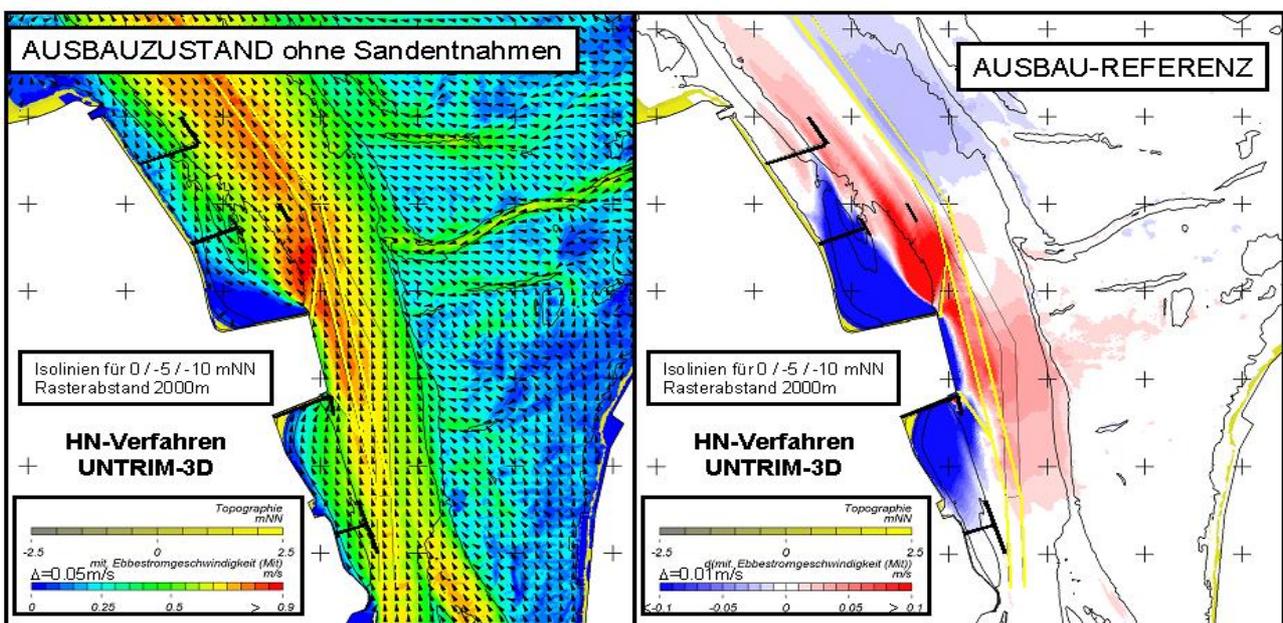


Bild 9. Mittlere Ebbestromgeschwindigkeiten (li.) und ausbaubedingte Änderungen der mittleren Ebbestromgeschwindigkeiten (re.)

Umweltfragen (3)

Auswirkungen des JadeWeserPorts auf die Tide- und Morphodynamik der Jade

werks auf die Tidedynamik und die Morphodynamik der Jade zu untersuchen.

Die Ergebnisse der wasserbaulichen Systemanalyse zu den ausbaubedingten Änderungen der Tide- und Morphodynamik infolge JadeWeserPort können wie folgt zusammengefasst werden:

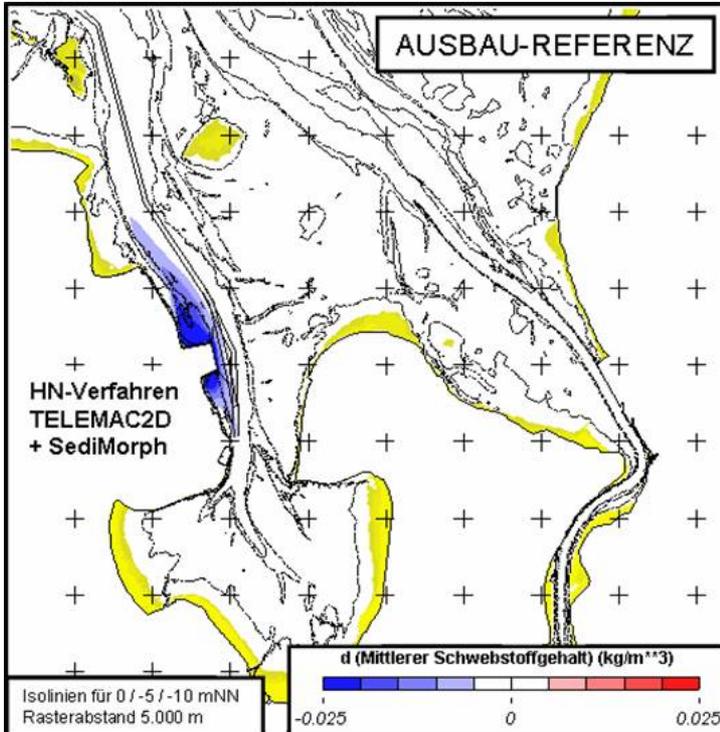


Bild 11. Ausbaubedingte Änderungen des mittleren Schwebstoffgehaltes

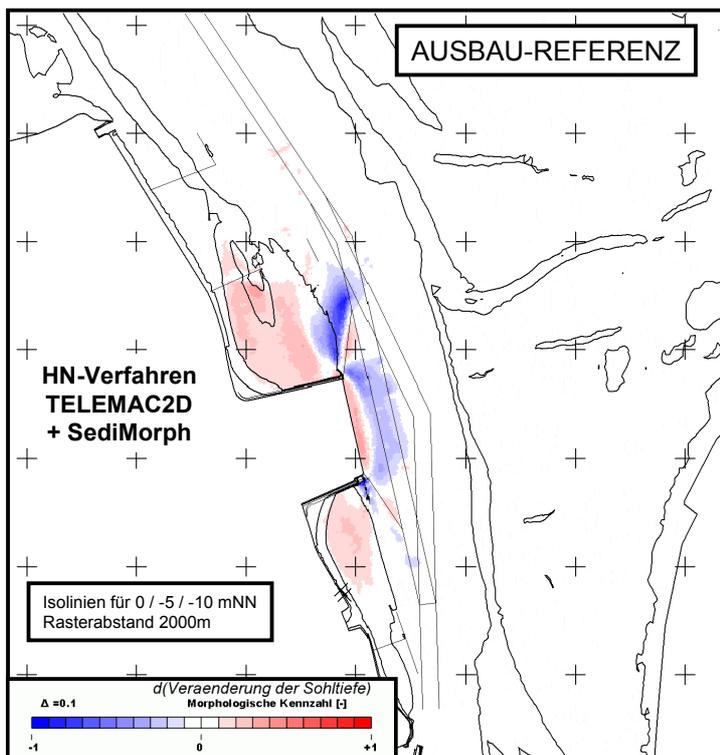


Bild 10. Ausbaubedingte Änderungen der Sohle

- keine signifikanten Änderungen der Tidekennwerte in Weser, Jadebusen und Außenweser
- örtlich begrenzte Änderungen der Tidekennwerte in der Innenjade
- Anhebung der Fließgeschwindigkeiten im Zufahrtsbereich und im neuen Jadefahrwasser
- günstige Voraussetzungen für das Freibleiben des Zufahrtsbereiches und des neuen Fahrwassers
- Sedimentation im Schatten der Bauwerksflanken aufgrund der Strömungsreduktion in diesen Bereichen
- deutliche Verringerung des Schwebstoffgehaltes in der Innenjade westlich der Fahrrinne

Literatur

BAW-INTERNETSEITEN

(a) Dokumentation Untrim, Telemac und SediMorph

<http://www.baw.de/vip/abteilungen/wbk/Publikationen/pkb/index.htm>

(b) Kolloquiumsvorträge vom 19.06.03 JadeWeserPort

http://www.baw.de/vip/abteilungen/wbk/event/kolloquium_2003-06-19.html

BAW (2003): JadeWeserPort - Zusammenfassendes Gutachten zu den ausbaubedingten Änderungen auf die Tidedynamik, Sturmfluten, Morphodynamik und Kühlwassersituation. Erstellt für: JWP Entwicklungsgesellschaft mbH, Wilhelmshaven

Verfasser

Dr.-Ing. Andreas Kahlfeld

Referat Ästuarsysteme I

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), DSt HH

Wedeler Landstrasse 157, 22559 Hamburg

Tel.: 040 81908 – 339

E-Mail: kahlfeld@hamburg.baw.de

Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf

Referat Ästuarsysteme I

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), DSt HH

Wedeler Landstrasse 157, 22559 Hamburg

Tel.: 040 81908 – 332

E-Mail: schuettrumpf@hamburg.baw.de