



BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU

Karlsruhe · Hamburg · Ilmenau

BAW



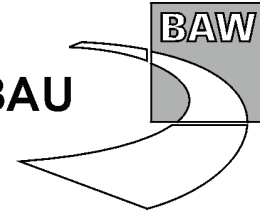
ANLAGEBAND

**Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe
an die Containerschifffahrt**

**Anlagenband 2 zum Gutachten
zur
ausbaubedingten Änderung
der morphodynamischen Prozesse**

BAW Nr. A3955 03 10062

H 1c



**Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe
an die Containerschifffahrt**

**Anlagenband 2 zum Gutachten
zur
ausbaubedingten Änderung der morphodynamischen Prozesse**

Auftraggeber: Projektbüro Fahrrinnenanpassung
der Unter- und Außenelbe beim
Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg der WSV
(Bündelungsstelle) und Hamburg Port Authority
Moorweidenstraße 14
20148 Hamburg

Auftrag vom: 1. November 2004, Az.: A;192-4;427.04

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. A3955 03 10062

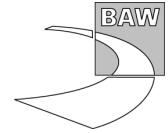
Aufgestellt von: Abteilung: Wasserbau im Küstenbereich
Referat: Ästuarsysteme II (K3)
Bearbeiter: Dr. Heyer, Dr. Winkel, Dr. Weilbeer

Hamburg im August 2006

Das Gutachten darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BAW.

Abbildungsverzeichnis

Bild 2 - 1: Gitternetz des Delft3D Modells, das für die parallele Berechnung in zwei Gebiete aufgeteilt wurde (domain decomposition).	2
Bild 2 - 2: Vergleich berechneter und gemessener Tidekurvenverläufe	3
Bild 2 - 3: Tiefenverteilung im Ausbaurzustand	3
Bild 2 - 4: Einkornsedimentbelegung 0,2 mm – Morphologische Entwicklung nach einem Jahr als Differenz zwischen Vergleichszustand und Ausbaurzustand	4
Bild 2 - 5: Einkornsedimentbelegung 0,4 mm – Morphologische Entwicklung nach einem Jahr als Differenz zwischen Vergleichszustand und Ausbaurzustand	5
Bild 2 - 6: Einkornsedimentbelegung 0,63 mm – Morphologische Entwicklung nach einem Jahr als Differenz zwischen Vergleichszustand und Ausbaurzustand	6
Bild 2 - 7: Einkornsedimentbelegung 0,2 mm – Morphologische Entwicklung nach 80 Tagen als Differenz zwischen Vergleichszustand und Ausbaurzustand	7
Bild 2 - 8: Einkornsedimentbelegung 0,2 mm – Morphologische Entwicklung nach 80 Tagen als Differenz zwischen Vergleichszustand und Ausbaurzustand	8
Bild 2 - 9: Einkornsedimentbelegung 0,2 mm – Morphologische Entwicklung nach 80 Tagen als Differenz zwischen Vergleichszustand und Ausbaurzustand	9
Bild 2 - 10: Einkornsedimentbelegung 0,2 mm – Morphologische Entwicklung nach 80 Tagen als Differenz zwischen Vergleichszustand und Ausbaurzustand mit Berücksichtigung von Seegang (links) und ohne Berücksichtigung von Seegang (rechts).	10
Bild 2 - 11: Natürliche Sedimentbelegung – Morphologische Entwicklung nach einem Jahr als Differenz zwischen Vergleichszustand und Ausbaurzustand	11
Bild 2 - 12: Natürliche Sedimentbelegung – Morphologische Entwicklung nach einem Jahr als Differenz zwischen Vergleichszustand und Ausbaurzustand	12



Anlage 2

Systemstudien zur Untersuchung langfristiger morphologischer Entwicklung in der Unter- und Außenelbe

Die durchgeführten Untersuchungen basieren auf zweidimensionalen Modellen, in denen die instationären Tidedrömungen als Mittelwert über die Wassertiefe berechnet werden. Zur Einschätzung der Modellunscharfen wird ein morphodynamischer Multi-Modell-Ansatz einschließlich Parametervariation und -anpassung verfolgt. Hierzu werden Simulationsläufe mit den Modellverfahren

- Delft3D
- MARTIN
- UnTRIM und SediMorph

durchgeführt werden. Referenzen zu diesen Modellverfahren sind im übergeordneten Gutachten angegeben.

Berechnungen mit Delft3D

- Domain decomposition Helgoland bis Grauerort 583x130 Zellen
 Grauerort bis Geesthacht 590x 45 Zellen (siehe Bild 2-1)
- Rechendauer: 26 Tage Hydrodynamik,
 24 Tage Morphodynamik
- MD-Skalierungsfaktor = 20 für die morphodynamische Entwicklung
- Sedimenttransportformel n. van Rijn (1993)
- Simulationsläufe mit Einkornsedimentbelegungen unterschiedlicher Durchmesser:
 sedV0: d50 = 0,20 mm → 200 µm
 sedV1: d50 = 0,40 mm → 400 µm
 sedV2: d50 = 0,63 mm → 630 µm
- Vergleichende Auswertung

Hinweis: MD-Skalierungsfaktor steht für einen Faktor, der in den morphodynamischen Simulationen Verwendung findet. Allgemein ausgedrückt liefert ein Faktor von 20 eine 20-fache Beschleunigung der morphodynamischen Entwicklung.



Bild 2 - 1: Gitternetz des Delft3D Modells, das für die parallele Berechnung in zwei Gebiete aufgeteilt wurde (domain decomposition).

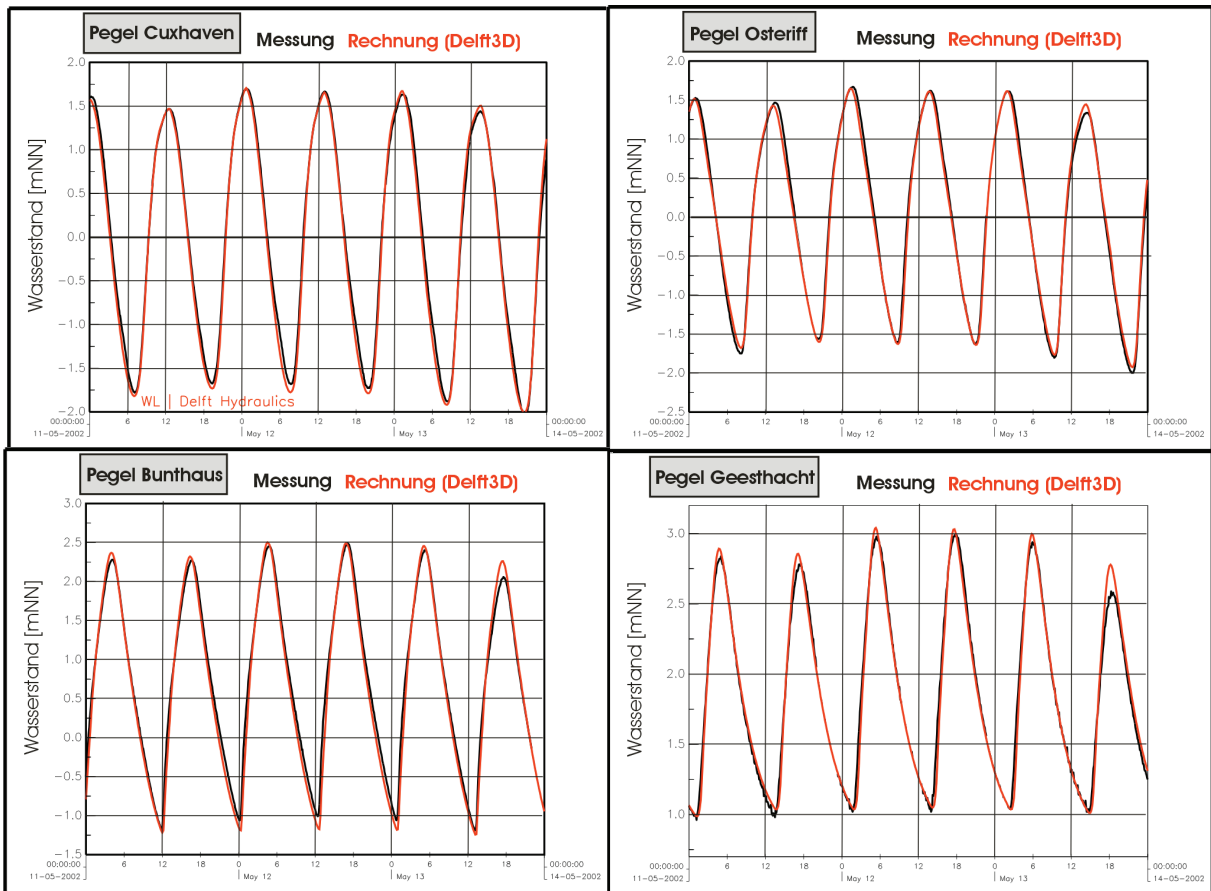


Bild 2 - 2: Vergleich berechneter und gemessener Tidekurvenverläufe

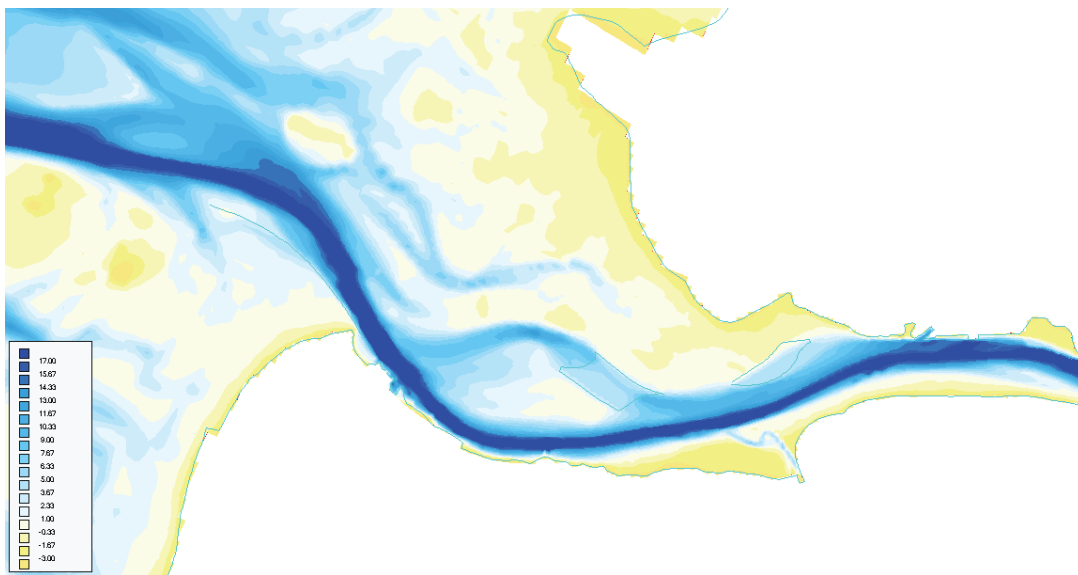


Bild 2 - 3: Tiefenverteilung im Ausbauzustand

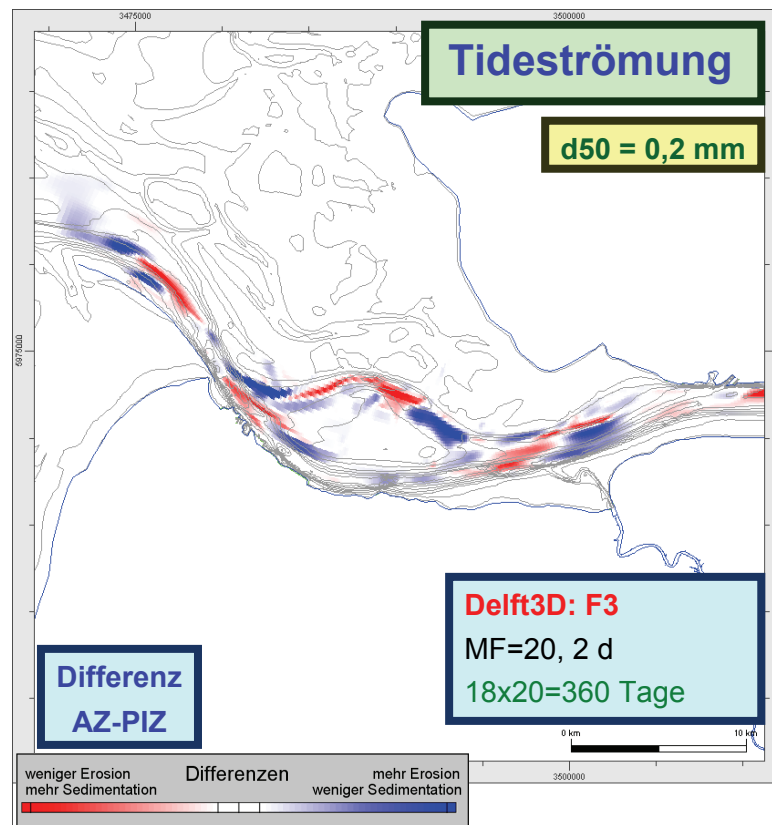


Bild 2 - 4: Einkornsedimentbelegung 0,2 mm – Morphologische Entwicklung nach einem Jahr als Differenz zwischen Vergleichszustand und Ausbaurzustand

Interpretation:

- Die UWA am Neufelder Sand wird nur geringfügig erodiert. Stromauf von der Ostemündung erfolgt insbesondere nördlich der Fahrrinne eine Erosion.
- Nördlich der Fahrrinne an der Ostemündung und stromab von der Ostemündung werden die Sedimente abgelagert.
- Die UWA in der Medemrinne wurde nicht als erosionsstabil eingebaut. Deshalb wird sie zum Teil erodiert, so dass in der südlich gelegenen Hauptrinne schließlich weniger Material erodiert wird.
- Im Bogen der Medemrinne kommt es zur Sedimentation.
- Stromauf von der Kugelbake kommt es zur Sedimentation bis auf Höhe Europakai und bis zum Medemgrund reichend.
- Es erfolgen auch Umlagerungen in der Fahrinnenkurve am Kugelbakenleitdamm.

Generelle Einschätzung:

Das Modell erzeugt im Vergleich zur Natur zu hohe Erosionsraten. Der homogen vorgegebene Gewässerboden aus Feinsand, der die größten Erosionsraten zulässt, ist als wesentliche Ursache zu nennen.

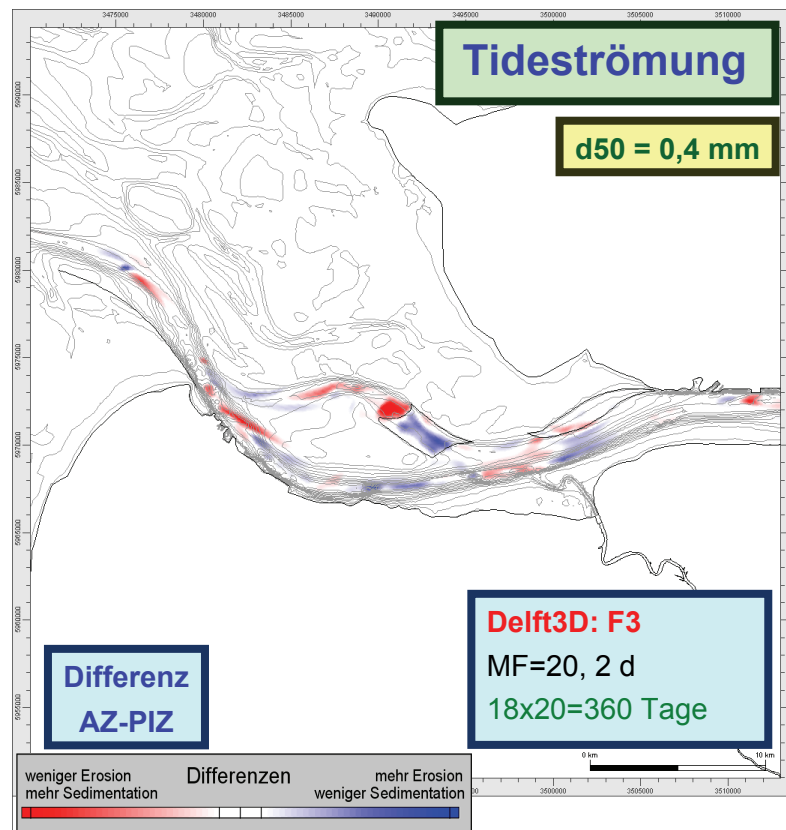


Bild 2 - 5: Einkornsedimentbelegung 0,4 mm – Morphologische Entwicklung nach einem Jahr als Differenz zwischen Vergleichszustand und Ausbauzustand

Interpretation:

- Die UWA am Neufelder Sand wird nicht erodiert, sondern durch geringfügige Sedimentationen beaufschlagt. Stromauf von der Ostemündung erfolgt eine Erosion, wie sie in etwa erwartet wird.
- Stromab von der Ostemündung werden die Sedimente abgelagert.
- Die UWA in der Medemrinne wurde nicht als erosionsstabil eingebaut. Deshalb wird sie zum Teil (jedoch weitaus geringer als bei der Vorgabe von Feinsand) erodiert.
- In der südlich gelegenen Hauptrinne erfolgen stromauf Glameyer Stack Erosionen, wie sie erwartet werden.
- Im Bogen der Medemrinne kommt es zur Sedimentation.
- Stromauf von der Kugelbake kommt es zur Sedimentation zwischen dem Fährhafen Cuxhaven und dem Europakai.
- In der Fahrrinnenkurve am Kugelbakenleitdamm überwiegen Sedimentationen in der Innenkurve.

Generelle Einschätzung:

Das Modell erzeugt im Vergleich zur Natur in einigen Gebieten zu hohe Erosionsraten. Der homogen vorgegebene Gewässerboden aus Mittelsand kommt den natürlichen Verhältnis-

sen näher, obwohl die stark durchströmten Abschnitte der Fahrrinne auch erhebliche Grob- sandanteile aufweisen. Die Modellparametrisierungen sind den natürlichen Umlagerungs- mengen noch genauer anzupassen. Hierzu sind aufwendige Nachrechnungen der histori- schen Entwicklungen erforderlich.

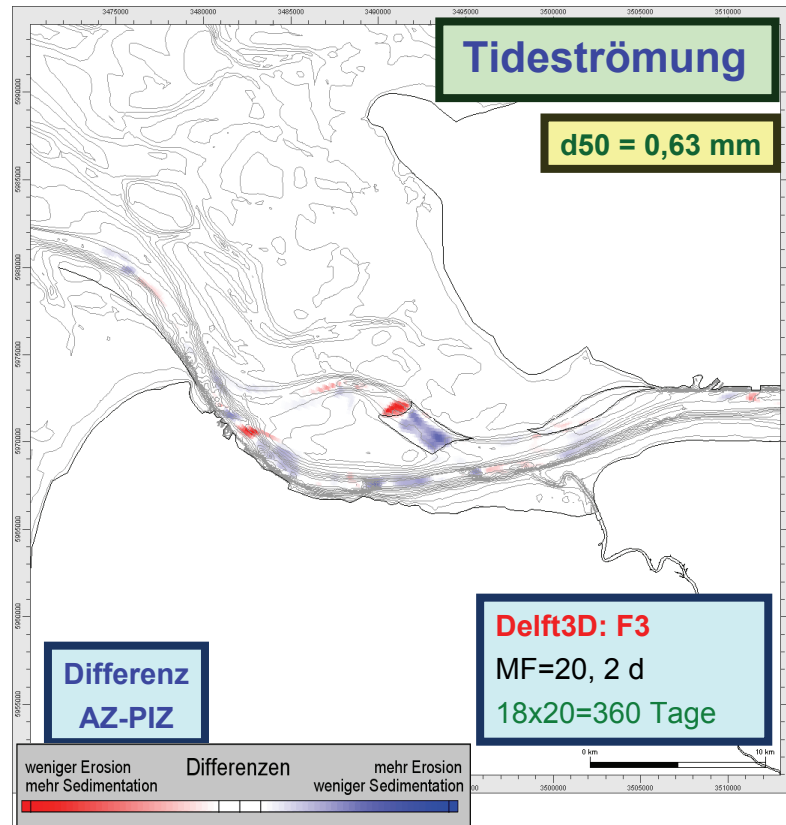


Bild 2 - 6: Einkornsedimentbelegung 0,63 mm – Morphologische Entwicklung nach einem Jahr als Differenz zwischen Vergleichszustand und Ausbauzustand

Interpretation:

- Die UWA am Neufelder Sand wird nicht erodiert. Stromauf von der Ostemündung erfolgt eine Erosion, die in der Lage mit dem Modell für Mittelsand übereinstimmt.
- Stromab von der Ostemündung werden Sedimente abgelagert.
- Die UWA in der Medemrinne wurde nicht als erosionsstabil eingebaut. Deshalb wird sie zum Teil (jedoch geringer als bei der Vorgabe von Mittelsand) erodiert.
- In der südlich gelegenen Hauptrinne erfolgen stromauf Glameyer Stack Erosionen, wie sie auch für den Mittelsand berechnet wurden.
- Im Bogen der Medemrinne kommt es zu geringen Sedimentationen, weil insgesamt weniger Material erodiert wird.
- In der Fahrrinne am Europakai kommt es bis zum Medemgrund reichend zu Sedimentationen.

- In der Fahrrinnenkurve am Kugelbakenleitdamm überwiegen Sedimentationen in der Innenkurve.

Generelle Einschätzung:

Die Analyse für das Modell mit einem Gewässerboden aus Grobsand zeigt eine vergleichbare Verteilung der Erosions- und Sedimentationszonen wie das Modell mit der Mittelsandsohle. Die Auswirkungen treten weniger deutlich hervor.

Berechnungen mit MARTIN

- Hydro- u. Morphodynamik: Rechendauer: 90 Tage
- MD-Skalierungsfaktor = 1 , Transportformel: v. Rijn
- Rückkopplung der berechneten Tiefenänderungen auf die Hydrodynamik innerhalb des Programmablaufes mit jedem Zeitschritt
- Einkornsediment 0,2 mm / 2D-Simulation
- Ergebnisse mit Wellen-, Hydro- und Morphodynamik für 80Tage

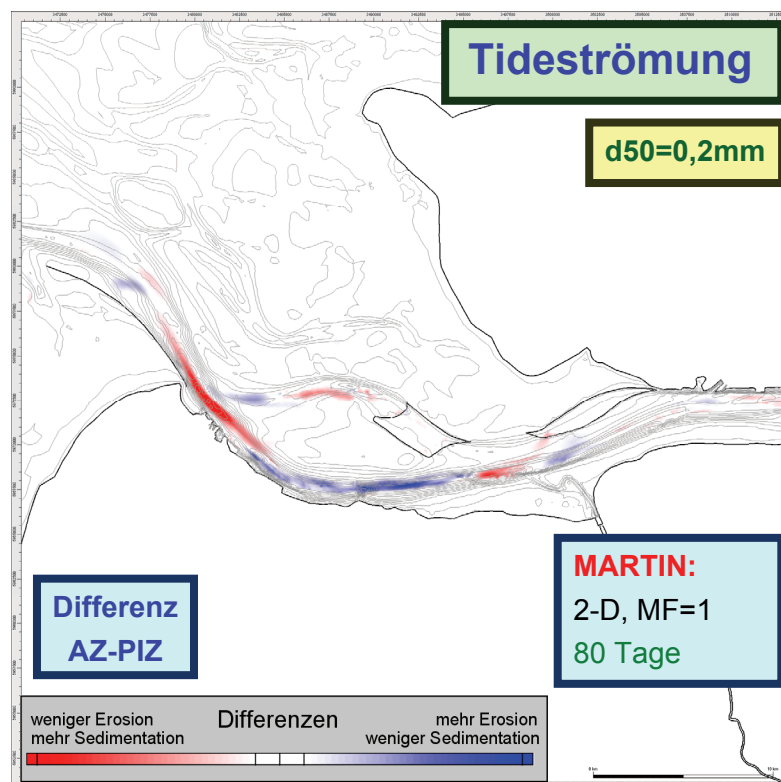


Bild 2 - 7: Einkornsedimentbelegung 0,2 mm – Morphologische Entwicklung nach 80 Tagen als Differenz zwischen Vergleichszustand und Ausbauzustand

Interpretation:

- Die UWA am Neufelder Sand wurde als erosionsstabil eingebaut
- Stromauf von der Ostemündung erfolgt insbesondere in der Fahrrinne eine Erosion.
- Stromab von der Ostemündung werden die Sedimente abgelagert.
- Die UWA in der Medemrinne wurde als erosionsstabil eingebaut.
- Im Bogen der Medemrinne kommt es zur Sedimentation.
- In der südlich gelegenen Hauptrinne erfolgen stromauf und stromab von Glameyer Stack Erosionen.
- Das im Altenbrucher Bogen erodierte Material sedimentiert in der Fahrrinne oberhalb und unterhalb der Kugelbake.

Generelle Einschätzung:

Das Modell erzeugt im Vergleich zur Natur zu hohe Erosionsraten. Die gewählte Parametrisierung und vor allem der homogen vorgegebene Gewässerboden aus Feinsand, der die größten Erosionsraten zulässt, sind als wesentliche Ursache zu nennen.

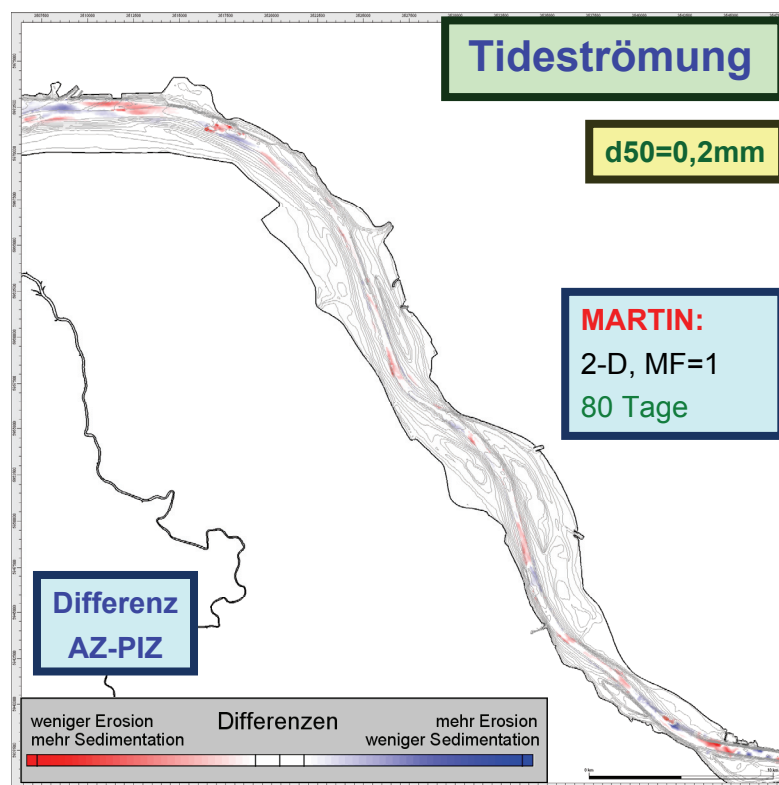


Bild 2 - 8: Einkornsedimentbelegung 0,2 mm – Morphologische Entwicklung nach 80 Tagen als Differenz zwischen Vergleichszustand und Ausbauzustand

Oberhalb der Zufahrt zum NOK ergeben sich vor allem Sedimentationen in den Abschnitten, in denen die Fahrrinne stärker vertieft bzw. aufgeweitet wird.

MARTIN - Gekoppeltes Modell Strömung und Wellen

- hyperbolisches Seegangmodell (mittlere Wellenhöhen, Perioden und Richtungen) direkt (pro Zeitschritt) mit dem Strömungsmodell gekoppelt
- Rückkopplung der berechneten Tiefenänderungen auf die Strömung und den Seegang mit jedem Zeitschritt
- Transportansätze:
 - Geschiebetransport nach van Rijn (1984)
 - Suspensionsfracht nach Rossinsky und Debolsky (1980)
- Tubulenzmodell und Transportansätze heuristisch erweitert um seegangserzeugte Turbulenz
- Suspensionsfracht bei Seegangseinfluss nach Rossinsky-Debolsky (1980)
- natürliches Szenario: 01.01.2002 – 21.03.2002 = 80 Tage

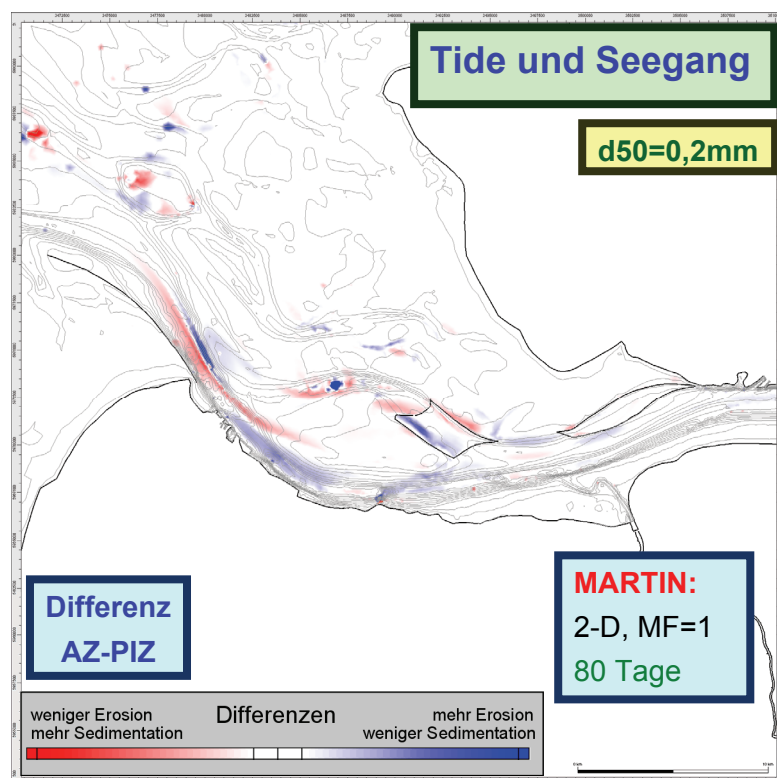


Bild 2 - 9: Einkornsedimentbelegung 0,2 mm – Morphologische Entwicklung nach 80 Tagen als Differenz zwischen Vergleichszustand und Ausbauzustand

Zur Diskussion der Ergebnisse siehe Bemerkungen zu Bild 2-10.

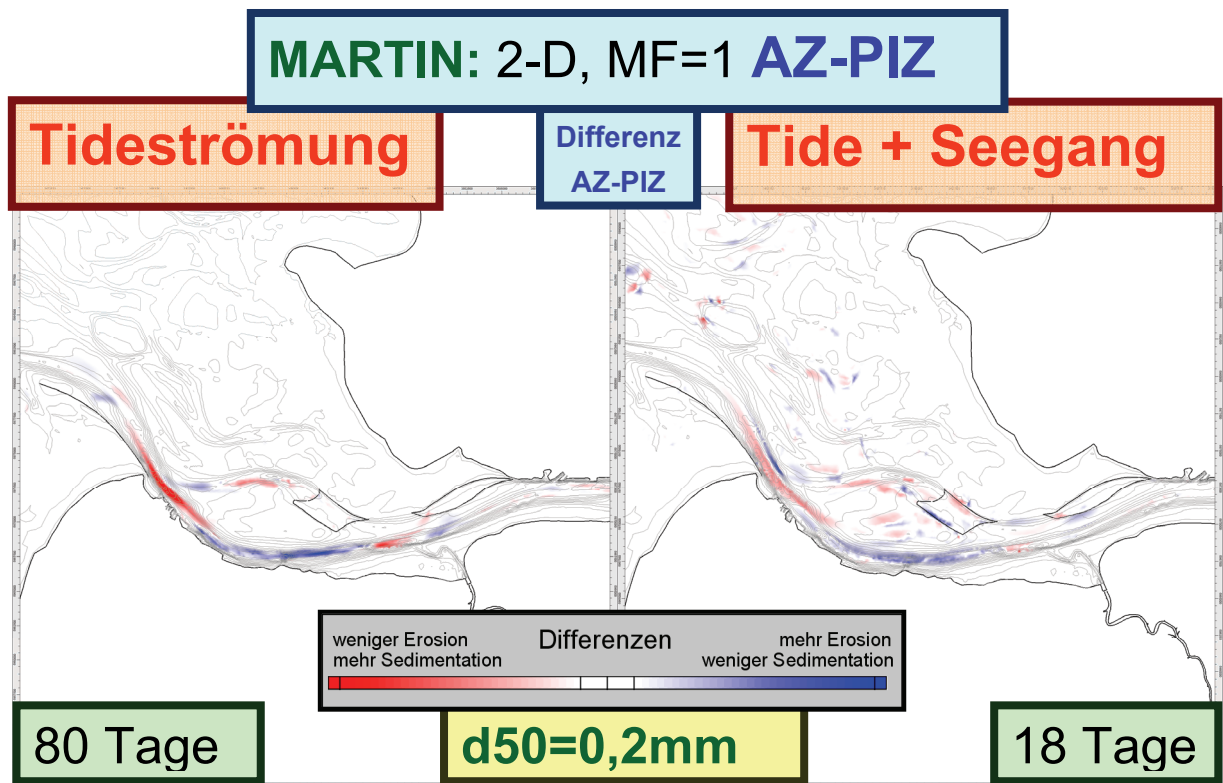


Bild 2 - 10: Einkornsedimentbelegung 0,2 mm – Morphologische Entwicklung nach 80 Tagen als Differenz zwischen Vergleichszustand und Ausbauzustand mit Berücksichtigung von Seegang (links) und ohne Berücksichtigung von Seegang (rechts).

Interpretation:

- Die UWA am Neufelder Sand wurde als erosionsstabil eingebaut.
- Stromauf von der Ostemündung erfolgt die Erosion mit Seegang nördlich der Fahrrinne.
- Stromab von der Ostemündung werden die Sedimente mit Seegang im geringeren Umfang abgelagert.
- Die UWA in der Medemrinne wurde als erosionsstabil eingebaut.
- Mit Seegang kommt es im Bogen der Medemrinne und auf dem Medemgrund zur Sedimentation.
- In der südlich gelegenen Hauptrinne erfolgen stromauf und stromab von Glameyer Stack Erosionen, die unter Seegangseinfluss in einem breiteren Band (in die Fahrrinnenböschungen hinein) ausgeprägt sind.
- Das im Altenbrucher Bogen erodierte Material sedimentiert in der Fahrrinne oberhalb und unterhalb der Kugelbake. Der Seegang reduziert die Sedimentationsmenge.

Generelle Einschätzung:

Beide Modelle erzeugen im Vergleich zur Natur zu hohe Erosionsraten. Die gewählte Parametrisierung und vor allem der homogen vorgegebene Gewässerboden aus Feinsand, der die größten Erosionsraten zulässt, sind als wesentliche Ursache zu nennen.

Berechnungen mit UnTRIM-SediMorph

- Rechendauer: 100 Tiden
- MD-Skalierungsfaktor = 7
- UVU-Modell mit vorh. Sedimentbelegung (ipds-Datei)
- Sedimentbelegung des Gewässerbodens aus Sedimentbeprobungen, die bis zum Herbst 2005 zur Verfügung standen (ipds-Datei).

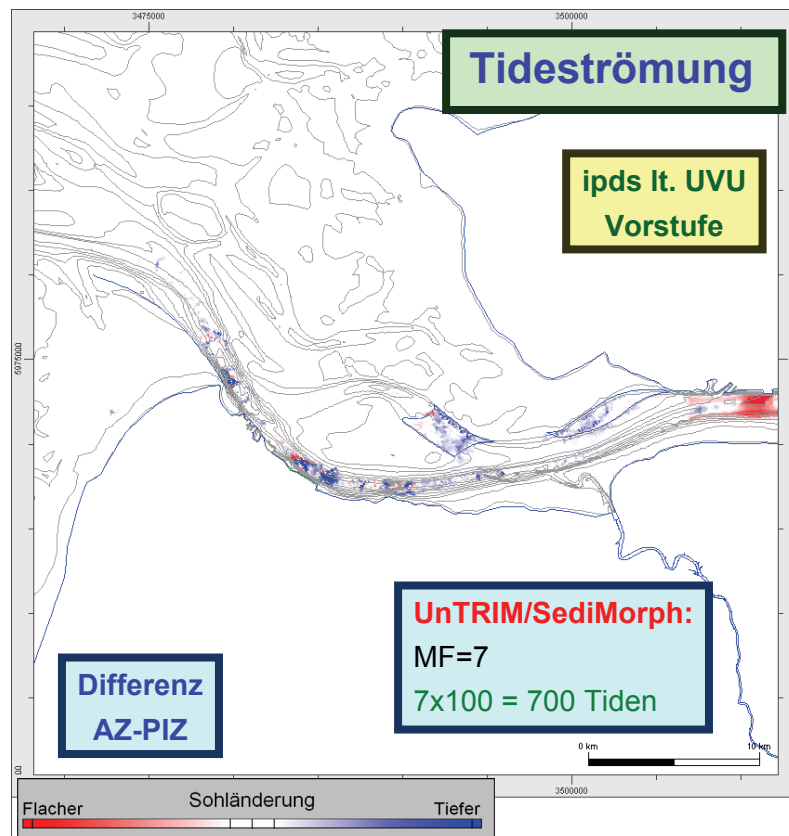


Bild 2 - 11: Natürliche Sedimentbelegung – Morphologische Entwicklung nach einem Jahr als Differenz zwischen Vergleichszustand und Ausbauzustand

Interpretation:

- Die UWA am Neufelder Sand wurde nicht erosionsstabil eingebaut.
- In der Fahrrinne stromauf der Ostemündung entstehen nur sehr geringe Erosionen.
- Die UWA in der Medemrinne wurde nicht erosionsstabil eingebaut. Sie wird deshalb teilweise erodiert. In der südlich gelegenen Hauptrinne entstehen stromauf von Glameyer Stack Erosionen, vereinzelt auch Sedimentationen.
- Stromab km 720 entstehen lokal etwas tiefer gehende Erosionen.
- In der Fahrrinne oberhalb des Europakais kommt es zu geringeren Sedimentationen.

Generelle Einschätzung:

Es ergibt sich ein differenzierteres Bild als bei der Vorgabe nur einer Kornfraktion. Erosionen überwiegen Sedimentationen, weil das feinere Material in der Kornmatrix erodiert und großräumiger verteilt wird.

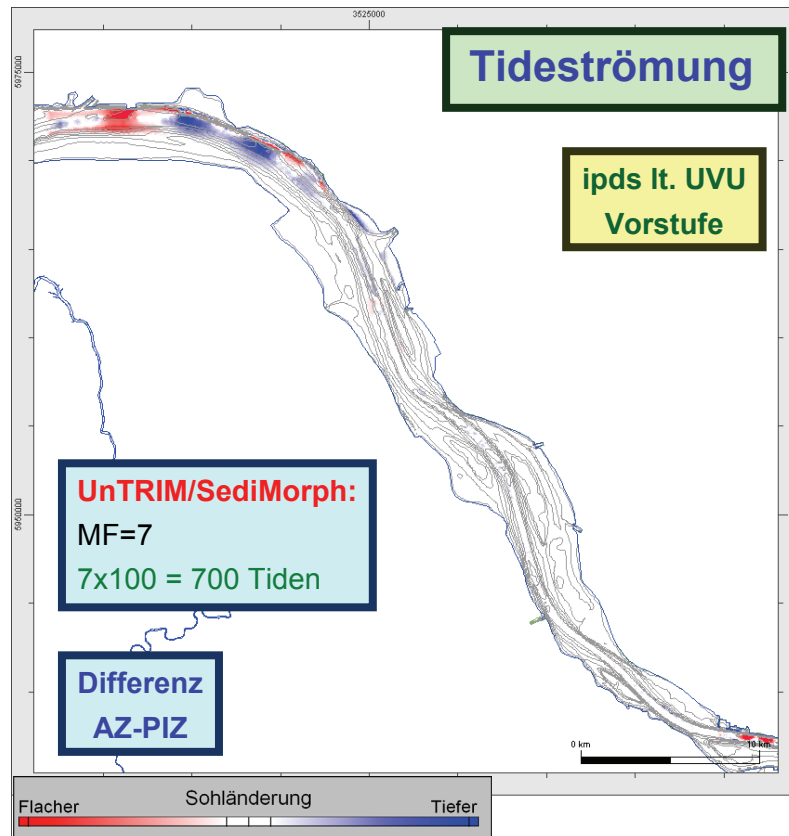
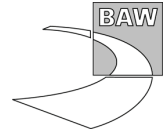


Bild 2 - 12: Natürliche Sedimentbelegung – Morphologische Entwicklung nach einem Jahr als Differenz zwischen Vergleichszustand und Ausbauzustand

In der Sedimentbelegung wurden zu hohe Schluffanteile im Bogen stromab von der Störmündung vorgegeben. Daher treten die Sedimentation am Elbehafen und die Erosionen an den stromauf gelegenen Unterwasserablagerungsflächen zu deutlich hervor.

Übergreifende Bewertung der Multi-Modell Anwendungen

Im Vergleich der dargestellten Ergebnisse treten gleichartige Muster in der morphologischen Reaktion des Systems hervor. Diese geben verwendbare Hinweise für die Interpretation der langfristigen ausbaubedingten Veränderungen. Die Berechnung der morphologischen Entwicklungen über einen langen Zeitraum darf jedoch nicht allein als belastbares Ergebnis interpretiert werden. Eine abgesicherte Prognose muss vor allem detaillierte Kennwertanalysen für die Ergebnisse einer 3D Simulation der Transportprozesse im gesamten Untersu-



chungsgebiet und auch die genaue Kenntnis der bisherigen morphologischen Entwicklung des Elbeästuars berücksichtigen.

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik können keine zuverlässigen gerichtsfesten Prognosen für langfristige Entwicklungen der Morphologie im Elbemündungsgebiet nur mit mathematischen Simulationsmodellen erzielt werden. Dies wäre erst vertretbar, wenn nachgewiesen wird, dass die historische Entwicklung der morphologischen Veränderungen für das Elbemündungsgebiet mit einem allgemein anerkannten Modellverfahren nachvollzogen werden kann.

Schrifttum

Van Rijn, L. C. : Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 110, 10, 1984

Rossinsky, Debolsky: Riverine Load, Nauka (Moskow), 216 p in Russian, 1980