

Deutsche Übersetzung der Zusammenfassung und Schlussfolgerungen der Studie
„On the response of tidal rivers to deepening and narrowing – Risks for a regime shift towards hyper-turbid conditions“

Auftraggeber:

Flämische „Afdeling Maritieme Toegang“ sowie vom niederländischen Ministerium für Infrastruktur und Umwelt, Rijkswaterstaat, Waterdienst und Direktion Zeeland.

Author:

Prof. Dr. C. Johan Winterwerp
Delft University of Technology
Faculty of Civil Engineering and Geosciences Department of Fluid Mechanics p.o. box 5048
2600 GA Delft
The Netherlands

**Die Reaktion von tidebeeinflussten Flussmündungen
auf Vertiefungen und Einengungen
Das Risiko für einen Systemwechsel hin zu extremen
Trübungsverhältnissen**

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Allgemeinverständliche Zusammenfassung durch das Aktionsbündnis
„Lebendige Tideelbe“



Allgemeinverständliche Zusammenfassung

Der Bericht enthält eine Analyse der historischen Entwicklung der Tide (Wasserstände, Strömungs- und Transportverhältnisse) in einer Reihe europäischer Ästuare im Verhältnis zu den im letzten Jahrhundert erfolgten menschlichen Eingriffen (Vertiefung, Verengung, Begradigungen...). Hintergrund für diese Untersuchung ist die Befürchtung, dass sich die Obere Seeschelde (Flussabschnitt in Belgien zwischen Schelle und Gent) wie Loire und Ems zu einem System mit extremer Trübung (extrem hohen Schwebstoffkonzentrationen) entwickeln könnte. Die Untersuchung wurde wie folgt aufgebaut:

1. Es wurden Daten zu Ems, Elbe, Loire und Oberer Seeschelde ausgewertet..
2. Es wurde ein analytisches Modell zur Berechnung der Tidewelle in Ästuaren erarbeitet.
3. Dieses Modell wurde anschließend verwendet, um die Reaktion tidebeeinflusster Flüsse auf menschliche Eingriffe zu beurteilen.
4. Um die Aussagefähigkeit des Modells zu prüfen, wurde die gemessene historische Entwicklung der Tide in den vier Ästuaren mit den im Modell ermittelten Prognosen bewertet.

In den Analysen werden folgende physikalische Mechanismen berücksichtigt:

- Im Süßwasserbereich bzw. inneren Bereich der untersuchten Ästuare beträgt die natürliche Schwebstoffkonzentration weniger als 100 Milligramm pro Liter (mg/l). Steigt diese Konzentration durch eine Änderung der Strömungsverhältnisse und Transportprozesse auf mehrere 100 (mg/l) an, konzentrieren sich die Schwebstoffe im Bereich der Gewässersohle (Bildung einer „**Fluid mud-Schicht**“). In der darüber liegenden Wassersäule sind die Schwebstoffkonzentrationen geringer. Die „Fluid mud-Schicht“ führt dazu, dass die **Reibung an der Gewässersohle abnimmt**. Durch die Verringerung der Reibung **nimmt die Räumkraft des Gewässers entsprechend ab** und weniger Schwebstoffe und Sedimente werden aus dem Gewässer ausgetragen. Als Parameter für die Reibung wird der Chézy-Koeffizient verwendet. Ist dieser hoch, ist die Reibung gering und umgekehrt.
- Von Natur aus tritt in den untersuchten Ästuaren **ein Trübungsmaximum** im Mündungsbereich auf, wo Süß- und Salzwasser aufeinander treffen. Die Lage dieses Trübungsmaximums resultiert aus der Balance zwischen der vom Fluss induzierten Spülwirkung (Oberwasserzufluss) und dem ästuarwärts gerichteten Transport der Feinsedimente. In vom Menschen unbeeinflussten Ästuaren ist in der Regel die Strömung bei ablaufendem Wasser (Ebbephase) stärker als in der Flutphase, in der Nordseewasser in die Flussmündung einströmt. Dieses Verhältnis wird „**ebbstromdominant**“ bezeichnet.

Als Folge der Vertiefung der Flüsse und durch die Verkleinerung des tidebeeinflussten Bereichs, der Gezeitenzone, in Folge von Eindeichungen und dem Abtrennen von Nebenarmen, hat die Strömung bei Flut zu- und bei Ebbe abgenommen. Diese Verschiebung der Strömungsverhältnisse wird als Tideassymetrie bezeichnet. Eine starke Vergrößerung der Tideassymetrie führt dazu, dass sich das Verhältnis der Strömungsstärken umkehrt und die Strömung bei Flut stärker als bei Ebbe ist. Die Verhältnisse sind dann „**flutstromdominant**“, d.h. es werden bei Flut mehr Sedimente und Schwebstoff aus der Nordsee in das Ästuar eingetragen als bei Ebbe wieder ausgetragen. Dieser Effekt wird „**Tidal pumping**“ genannt. Vgl. Abb1.

Bei einer Zunahme der Tideassymetrie als Folge der oben genannten Eingriffe, kann sich ästuarwärts ein **zweites Trübungsmaximum** in Ästuaren bilden, für die von Natur aus ein normal ist. Kommt es zur Ausbildung eines zweiten, wird von einem **Regime Shift**, d.h.

Systemwechsel gesprochen. Die physikalischen Eigenschaften des Ästuars (z.B. Gewässersohle, Rauigkeit) haben sich dann verändert

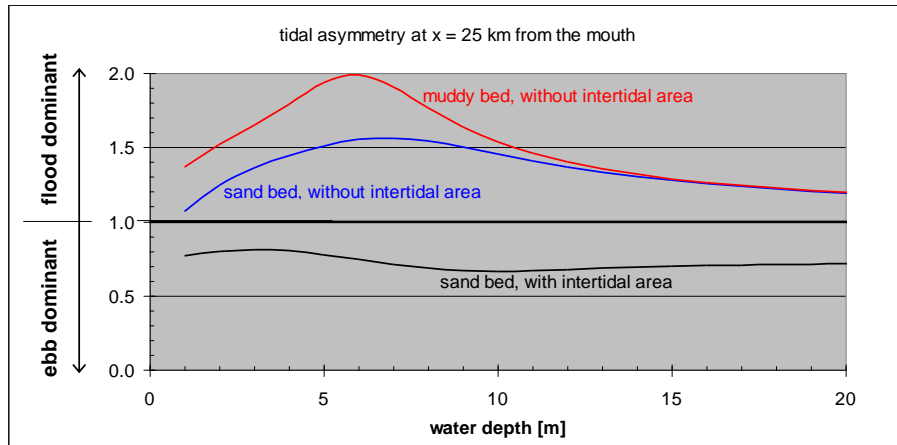


Abb. 1: Reaktion der Tidenasymmetrie (γ -Parameter) als Funktion des Vorhandenseins einer Gezeitenzone (intertidal areas) sowie von Schlick in der Wassersäule oder im Flussbett.

Ergebnisse der Modelluntersuchungen:

- Wird der tidebeeinflusste Bereich (Gezeitenzone) verkleinert, wird das System in Abhängigkeit vom Ausmaß dieser Verkleinerung flutstromdominant (Tideassymetrie)
- Durch die Flutstromdominanz werden Schwebstoffe und Sedimente in die Flussmündung aus der Nordsee eingetragen und das Ästuar verliert seine Spülwirkung.
- Als Folge davon entsteht ein zweites Trübungsmaximum (Systemwechsel).
- Durch die kontinuierlich ansteigenden Schwebstoffkonzentrationen wird entsprechend die Räumkraft geschwächt (Chézy-Koeffizient steigt an).
- Die schleichende Abnahme der Rauigkeit/Räumkraft führt zu einer Verstärkung der Tideassymetrie.
- Die Verstärkung der Tideassymetrie führt zu einer Zunahme der Schwebstoffkonzentration und damit zu einer Verstärkung der ablaufenden Prozesse, ohne das von außen weiter in das System eingegriffen wird.
- Dieser sich selbst verstärkende Prozess wird vom Autor „**Schneeballeffekt**“ genannt.

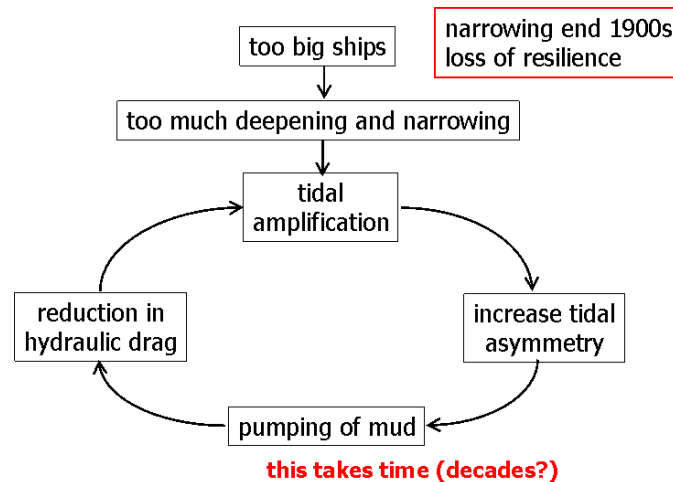


Abb. 2: Die „Schneeballeffekt“ bei Vertiefung wenig widerstandsfähiger Ästuare.

Ob sich ein zweites Trübungsmaximum tatsächlich bildet und es zu einem Systemwechsel kommt und in welchem Zeitraum dies geschieht, hängt von der Menge der zur Verfügung stehenden Feinsedimente (Schlick) ab. **Die Zeit zwischen der Schaffung „günstiger“ Bedingungen und der tatsächlichen Bildung eines zweiten Trübungsmaximums (extreme Trübung) kann lang sein, manchmal können Jahrzehnte vergehen.**

Elbe

Für alle vier Ästuare wurde der Chézy-Koeffizient für verschiedene Abschnitte untersucht (Entwicklung der Räumkraft). Für die Mehrzahl der Abschnitte ist dabei ein beträchtlicher Anstieg des Chézy-Koeffizienten zu verzeichnen. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Anstieg vor allem auf gestiegene Schwebstoffkonzentrationen zurückzuführen ist. **Der größte Anstieg wurde dabei für den inneren Teil des Elbeästuars ermittelt.** Dies lässt sich durch die größere Tiefe des Flusses erklären, wie anhand der Relation zur Abhängigkeit der effektiven Räumkraft von Schwebstoffkonzentrationen prognostiziert. Die für das innere Elbeästuar ermittelten hohen Chézy-Werte stehen nicht mit hohen Schwebstoffkonzentrationen in Zusammenhang, da letztere in diesem Teil des Flusses nicht gemessen wurden. **Die Analyse lässt jedoch den Schluss zu, dass im inneren Teil des Elbeästuars fast Resonanzbedingungen herrschen und sie daher auch auf kleine Änderungen der Form (Tiefe/ Breite) empfindlich reagiert.**

„Kipppunkt“ („Umschlagpunkt“ bei dem ein Systemwechsel im Ästuar stattfinden kann)

Die Analyse lässt den Schluss zu, dass ein „kritischer Punkt“ existiert, bei dessen Überschreiten das Ästuar mehr oder weniger autonom in einen Zustand extremer Trübung wechselt. Ein solcher Punkt kann in einem tidebeeinflussten Fluss durch umfassende technische Maßnahmen wie Vertiefung des Stroms und Verkleinerung des tidebeeinflussten Bereichs überschritten werden. Bisher war es noch nicht möglich diesen „kritischen Punkt“ genau festzulegen (zu quantifizieren). Die Veränderung der effektiven Räumkraft könnte jedoch ein wesentlicher Indikator sein. Der Report kommt zu dem Ergebnis, dass in Ems und Loire bereits der „kritische Punkt“ überschritten ist und ein Systemwechsel stattgefunden hat. **Die Elbe könnte den „kritischen Punkt“ überschritten haben oder steht kurz davor,** die Obere Seeschelde dagegen nicht.