

A topographic map of an estuary, showing a network of channels and ridges. The map uses a color scale from purple (low elevation) to red (high elevation). A vertical color scale on the right side of the map indicates elevation values in meters, ranging from 26.25 to 31.50. The map shows a complex pattern of channels and ridges, characteristic of an estuarine environment.

Impuls: Auftreten und Wirkung von Bodenformen in Ästuaren

Christian Winter

Küstengeologie und Sedimentologie, Institut für Geowissenschaften, Christian Albrechts-Universität zu Kiel

Motivation

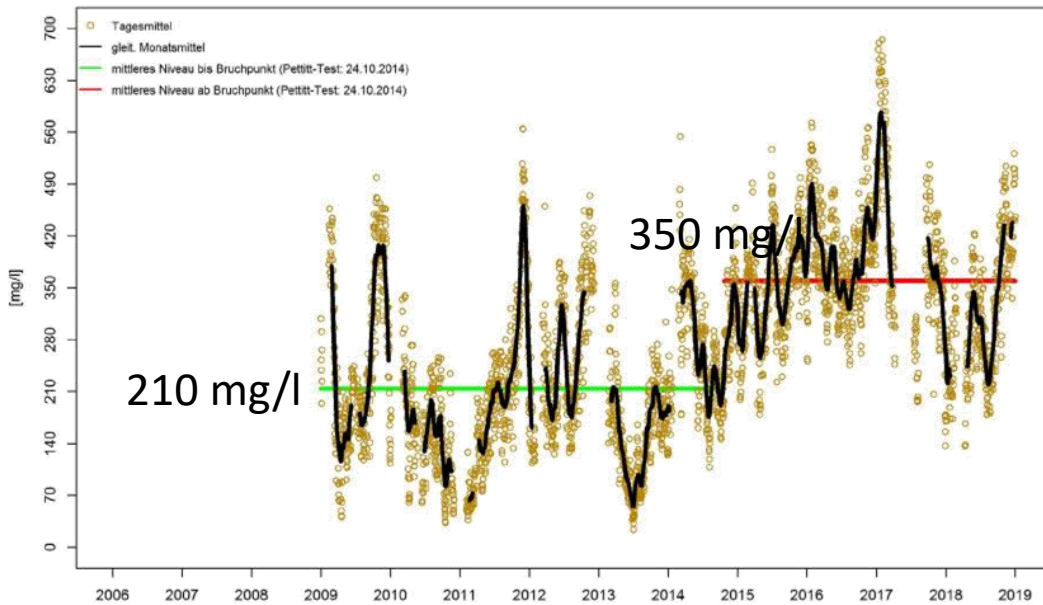
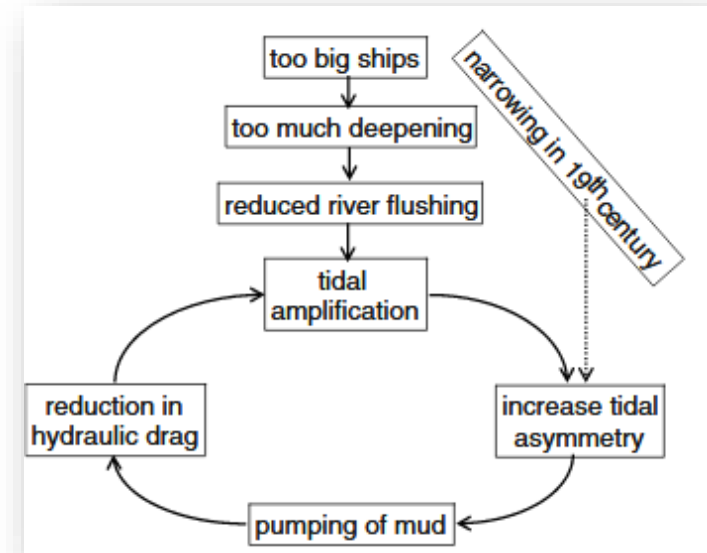


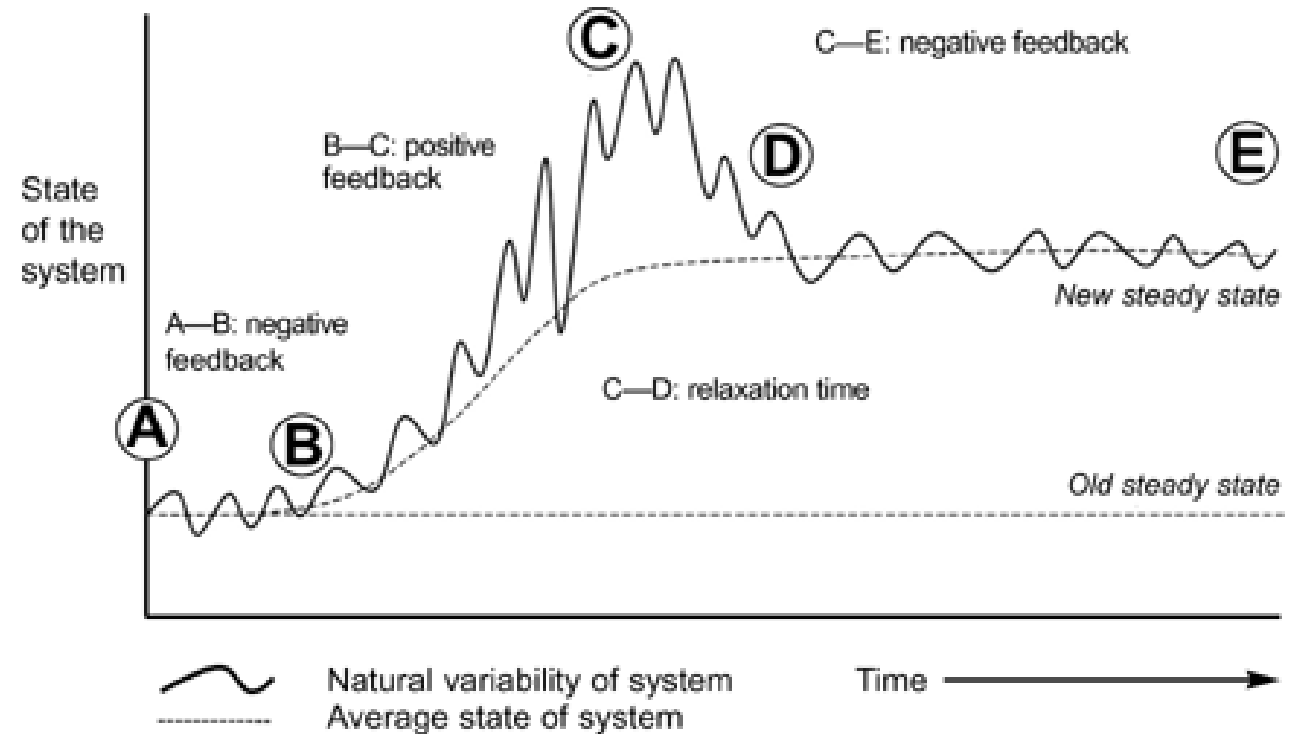
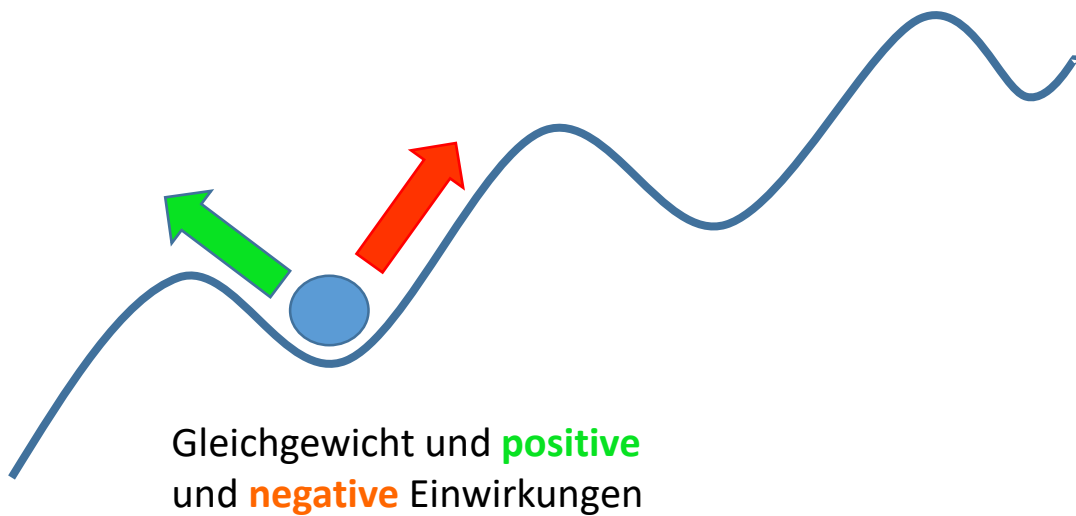
Abbildung 19: Entwicklung der Schwebstoffgehalte an der Dauermessstelle D1 (Tagesmittelwerte, Messebene ca. 1 m über der Gewässersohle) seit 2009. Die Schwebstoffgehalte wurden auf Basis der hier gemessenen Trübungswerte bestimmt.

Systemanalyse Elbe 2006-2019 Weilbeer et al. (2021)



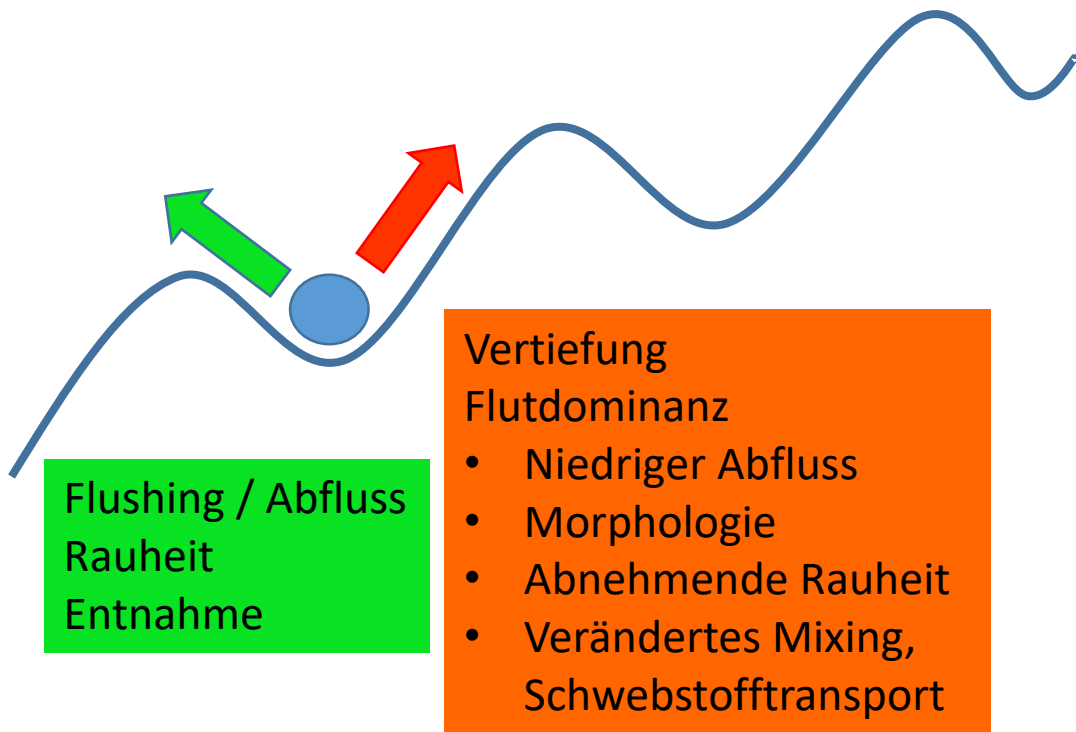
“... that this regime shift may be initiated in the Ems River at depth averaged concentrations typically of the order of a few 100 mg/l. Then, the trapping efficiency of the river increases rapidly as a result of vertical stratification during ebb, and asymmetry in floc size.” Winterwerp, 2013

Rückkopplungsmechanismen und Adaptionszeiten



Masselink & Hughes, 2011

Rückkopplungsmechanismen und Adaptionszeiten



Gleichgewicht zwischen flussabwärts gerichteten (Abfluss) und aufwärts gerichteten Prozessen (Konvergenz, ästuarine Zirkulation, ...)

Leicht gestörtes System: Zeitweise geringerer Abfluss führt zu reduzierter Räumung oder Unterhaltungsbaggerei zur Ablagerung schnell suspendierender Schwebstoffe, rekursiv durch Phasen erhöhten Abflusses oder Entnahme wieder ins Gleichgewicht gebracht werden (negative feedback)

Stark gestörtes System: Zu starker Eingriff (Vertiefung) führt zu viel Eintrag von Schwebstoffen und anderen Effekten (Tideasymmetrie, Ablagerung, reduziertes Mixing, MIPS) → Hyperturbide Systeme, u. U. nicht rekursiv

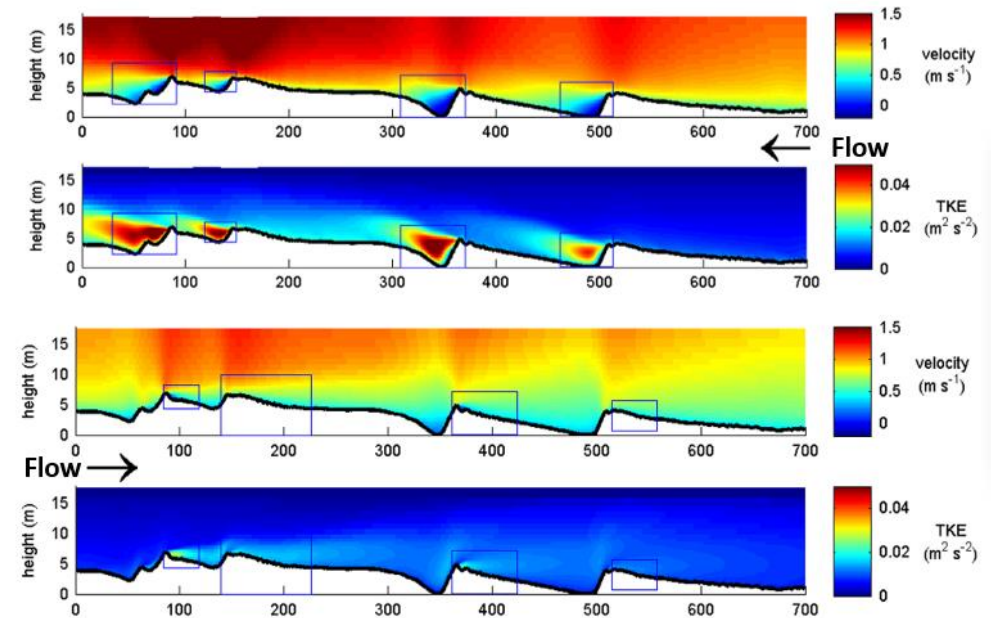
Überlagerung von Adaptionsprozessen

Diskussion:

- Abschätzung der Folgen von Eingriffen in nichtlineare Systeme erfordert bestmögliches Systemverständnis durch Modelle und Beobachtungen
- Es sind nicht alle Prozesse verstanden (Adaptationszeiten, Interaktion Schwebstoffe-Bodenformen,...)
- Es können nicht alle bekannten Prozesse im Modell abgebildet werden
- Tideasymmetrie als wichtiges Element im Schwebstoffhaushalt von Ästuaren.
Diskussion des Auftretens und der Wirkung von **Bodenformen**

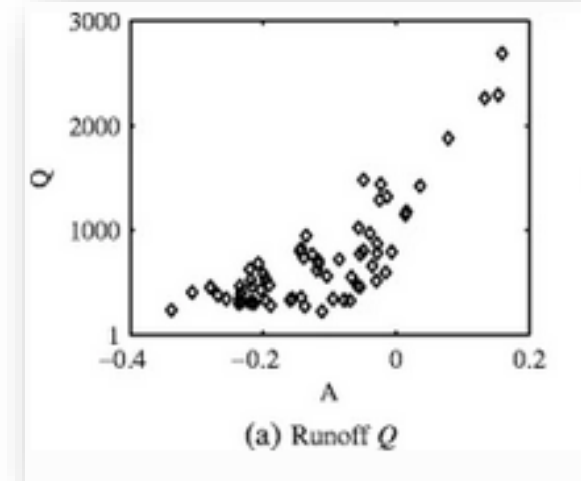
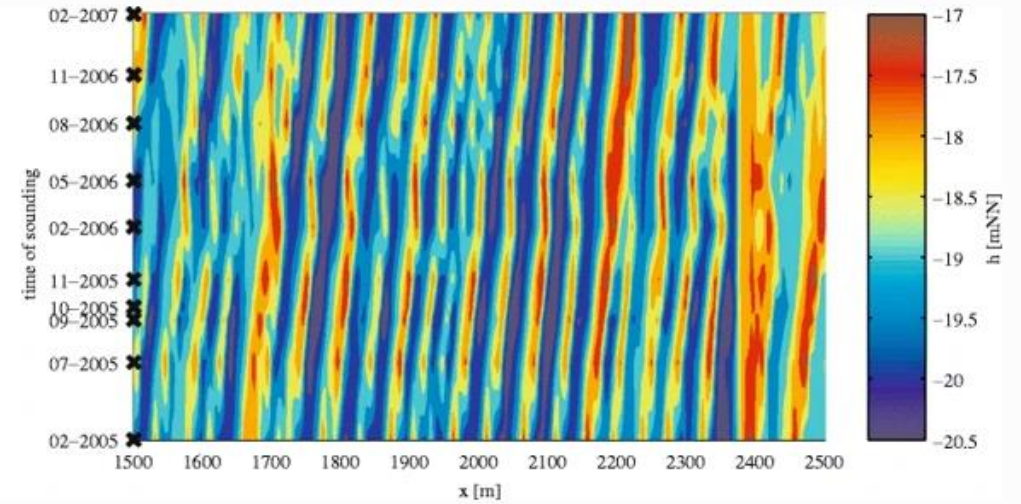
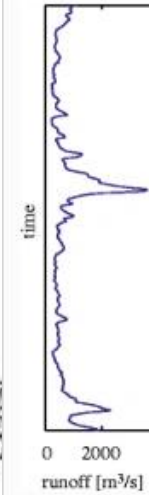
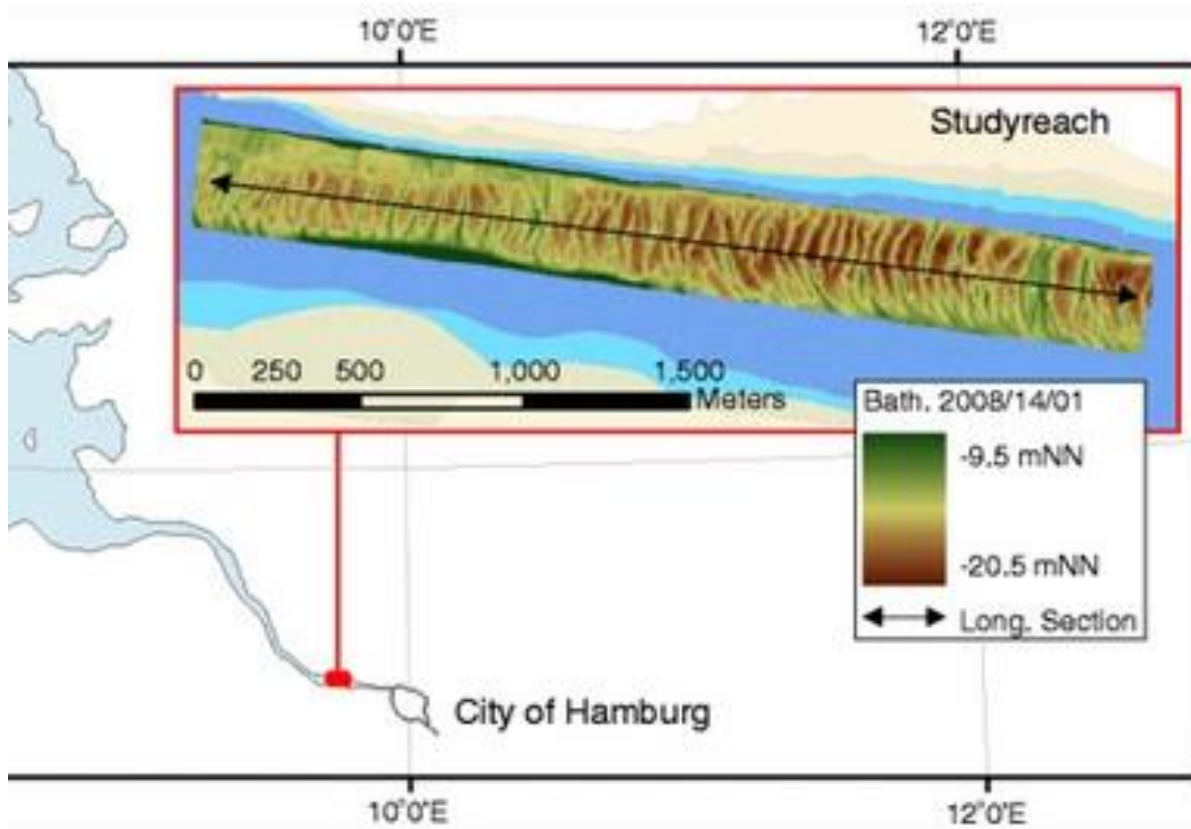
Relevanz von Bodenformen

- Die natürliche Dynamik von Strömung und Sedimenttransport in Flussmündungen wird durch Abfluss, Morphologie und Systemrauheit bestimmt
- Vereinfachtes System: Verringerung der Rauheit → Änderung der Tidesymmetrie zu flutdominanten Verhältnissen in konvergenten Flussmündungen
- Wesentliche Rauheitselemente: Ufer / Flachwasserzonen, Wassertiefe, Bodenrauheit (Dünen-, Megarippel-, Ripple-, Kornrauheit).
- Hier Wirkung von Dünen in Tideströmung



Lefebvre et al. (2014, 2016)

Bodenformen in der Elbe



Zorndt et al. 2011 zeigen Auftreten und Dynamik großer Dünen in der Elbe

Verschwinden der Dünen?

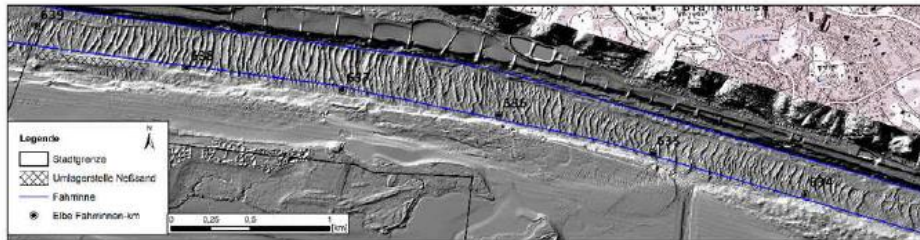


Abbildung 39: DGMW-2010 Schummerungsplan im Bereich der Hamburger Riffelstrecke.

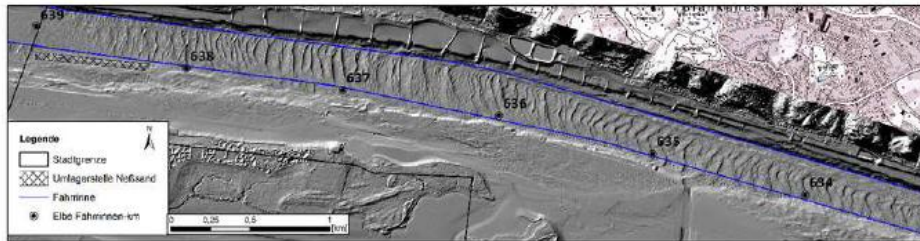


Abbildung 40: DGMW-2016 Schummerungsplan im Bereich der Hamburger Riffelstrecke.

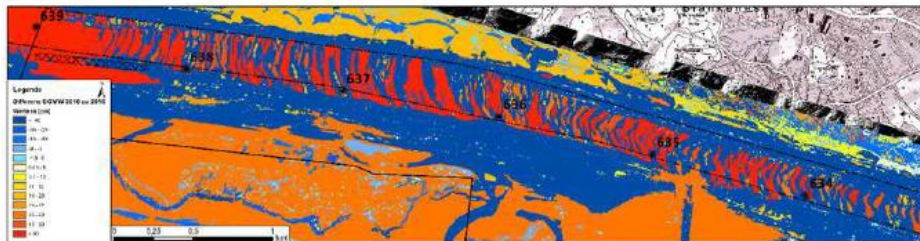


Abbildung 41: Differenzendarstellung DGM-W 2010 zu 2016 im Bereich der Hamburger Riffelstrecke. Tiefenwerte in [cm].

Weilbeer et al. 2021 zeigen für den Zeitraum 2020-2016 dass Dünen in der Elbe (Hamburger Riffelstrecke) verschwinden:

orange sowie rote Bereiche deklarieren Sedimentations- und blaue Erosionsbereiche. In dieser Darstellung wird deutlich gezeigt, dass entlang der Riffelstrecke die orange-roten Bereiche den blauen Bereichen deutlich überlegen sind. Daraus folgt, dass neben der natürlichen Dünen- und Riffeldynamik/Wanderung sich in den letzten Jahren weitere Sedimente entlang der Riffelstrecke abgelagert haben und die natürliche Dünen- und Riffelstruktur in ihrer Ausprägung geschwächt haben.

Offen bleibt der Mechanismus: Änderung der Sedimentologie oder Überdeckung?

Verschwinden der Dünen?

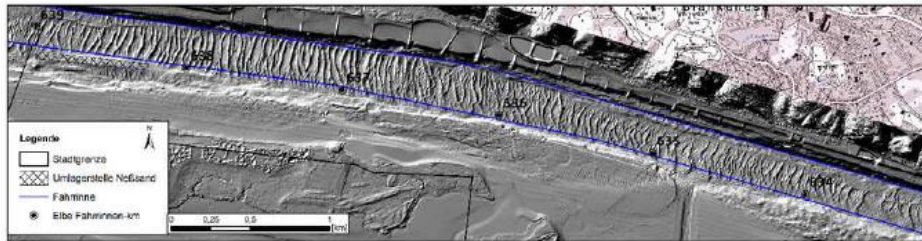


Abbildung 39: DGMW-2010 Schummerungsplan im Bereich der Hamburger Riffelstrecke.

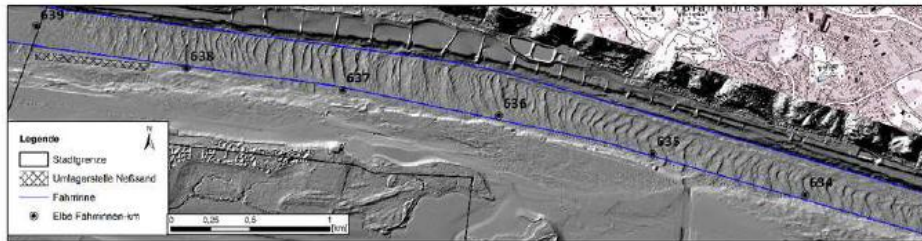


Abbildung 40: DGMW-2016 Schummerungsplan im Bereich der Hamburger Riffelstrecke.

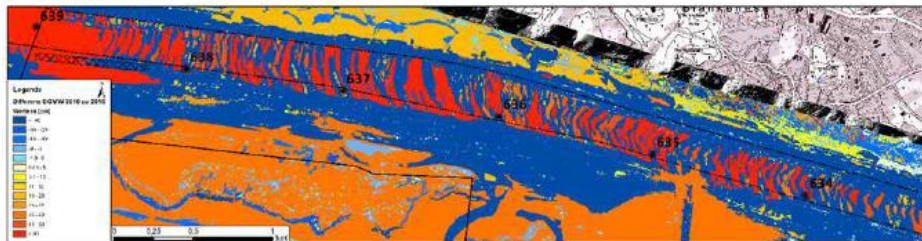
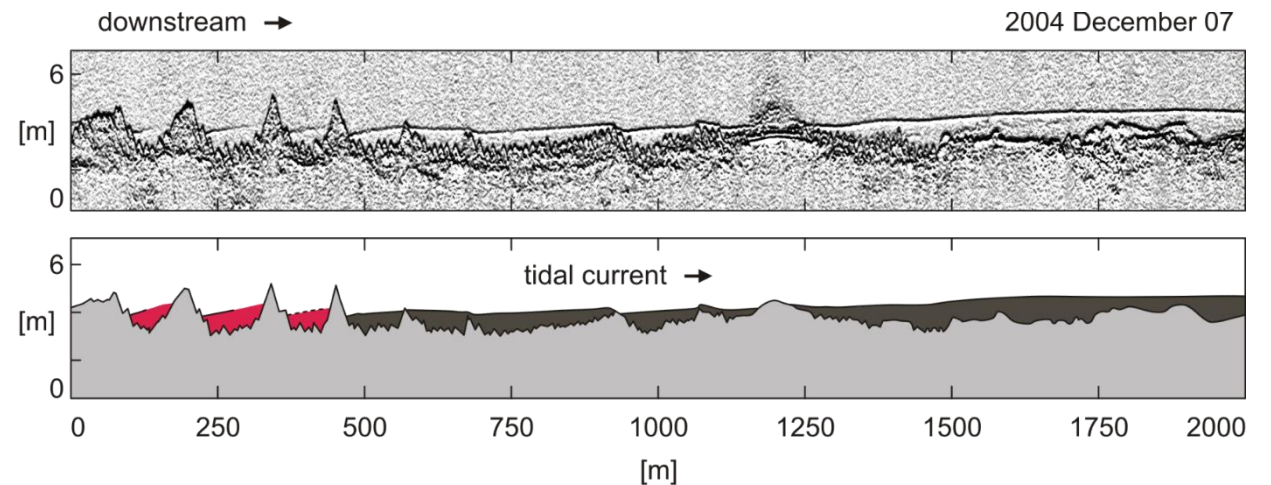
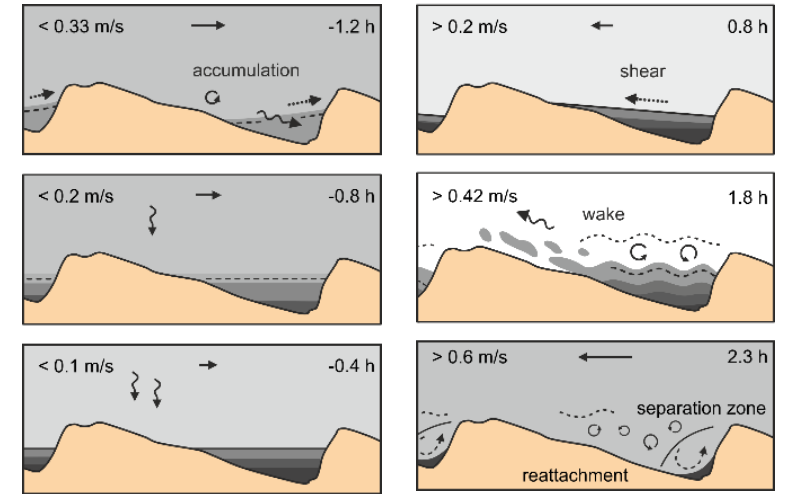


Abbildung 41: Differenzendarstellung DGM-W 2010 zu 2016 im Bereich der Hamburger Riffelstrecke. Tiefenwerte in [cm].



Becker et al. 2013 zeigen Situation in der Weser: Transiente Überdeckung von Bodeformen durch Flüssigschlick.

Simulation des Effekts fehlender Dünen

Die Küste, 89, 2021

<https://doi.org/10.18171/1.089104>

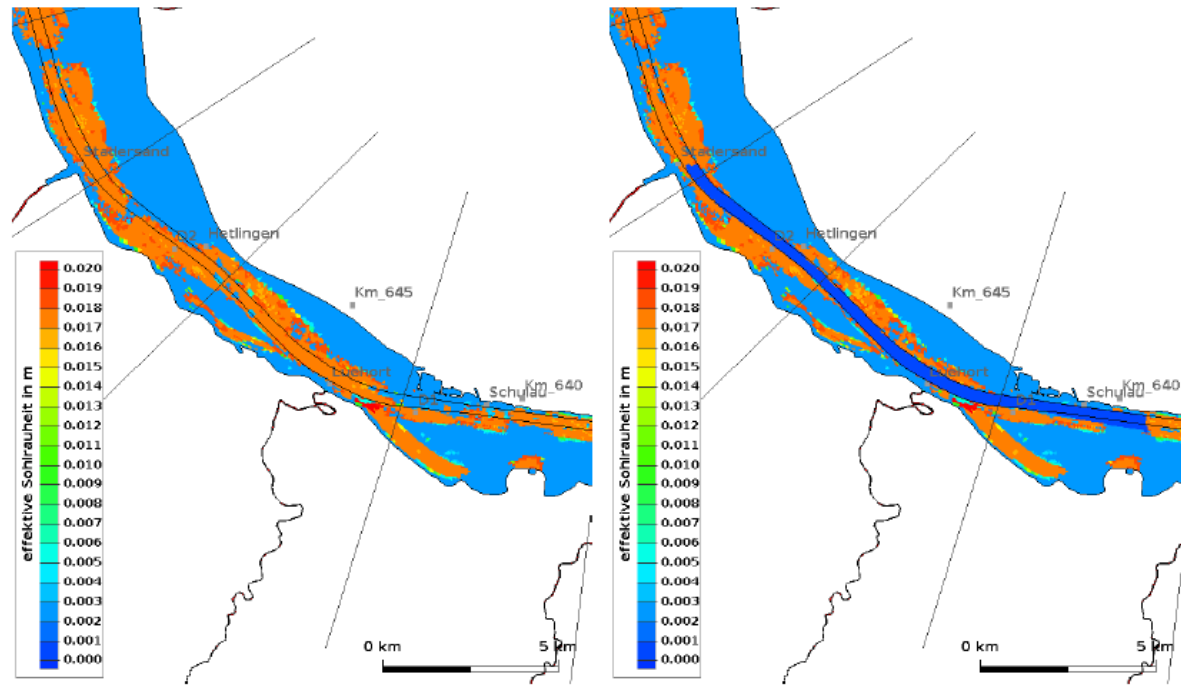


Abbildung 54: Systemstudie – Die Verringerung der effektiven Sohrrauheit in der Fahrrinne zwischen Elbe-km 640 (Wedel) und 655 (Stadersand) ist im rechten Bild zu erkennen.

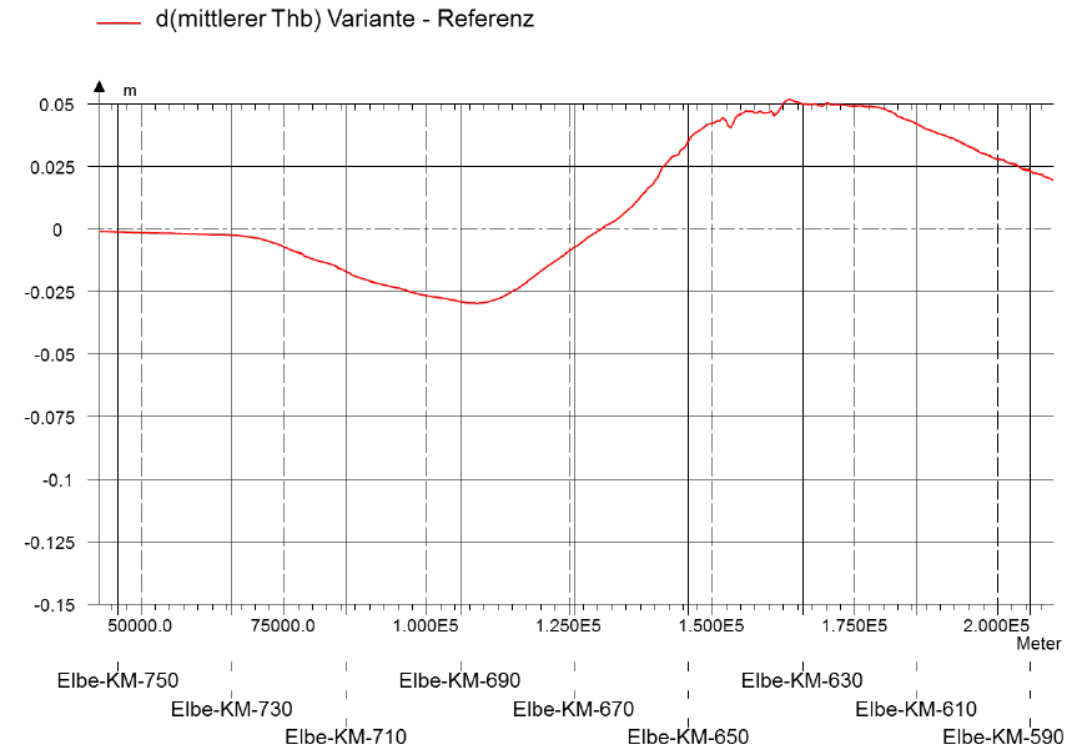


Abbildung 55: Differenz (Variante-Referenz) des mittleren Tidehubs entlang der Fahrrinne.

Studie zur Wirkung der Dünen zeigt Auswirkung auf den Tidehub. Keine weiteren Aussagen auf die Tideasymmetrie...

Weilbeer et al 2021

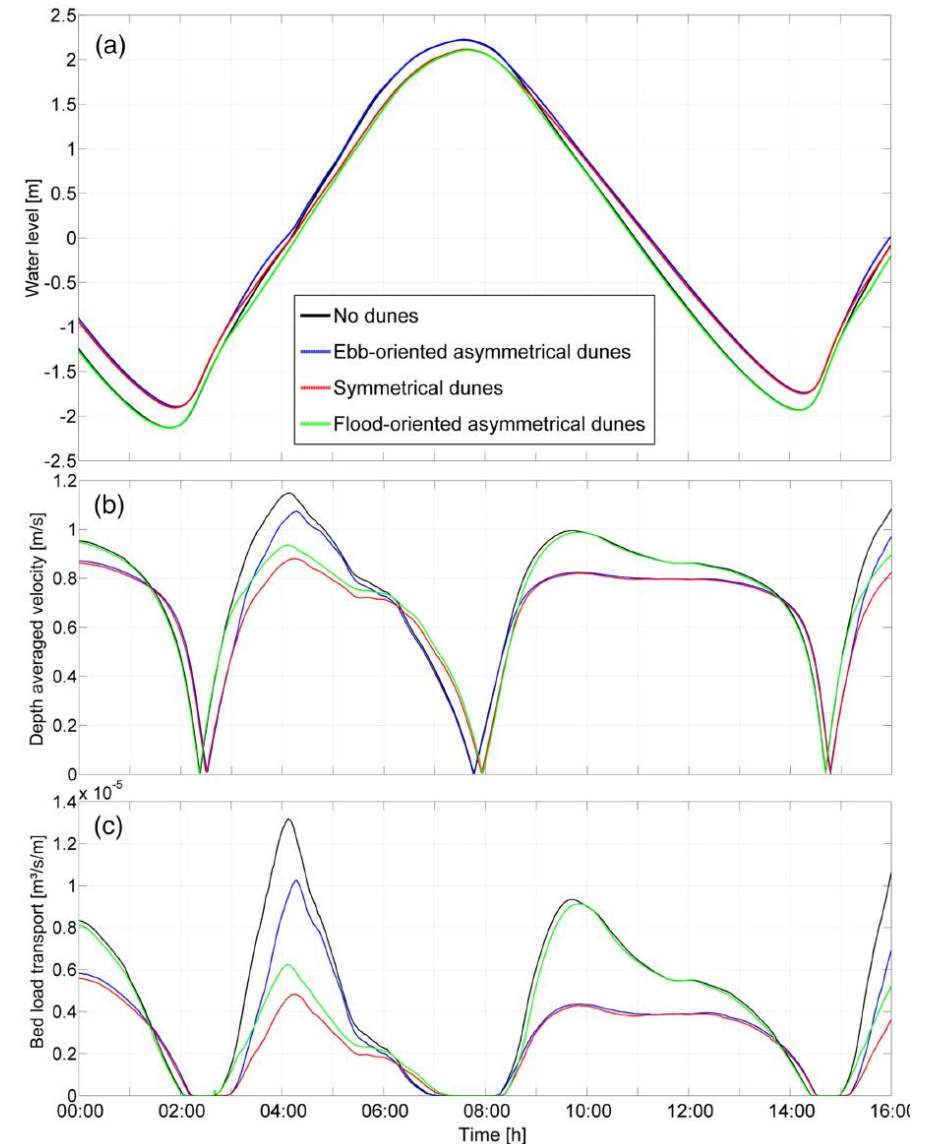
Modelluntersuchung Weser

Neue Studie an der Weser Herrling et al., 2021 zur Wirkung von Bodenformen auf Strömung und bodennahen Transport zeigt den Einfluss der (asymmetrischen) Dünenrauheit auf die Tidesymmetrie:

- Wasserstände,
- Geschwindigkeiten,
- Transporte höher, Asymmetrie

Beachte: Langfristige Wirkung kleiner Unterschiede im Transport

Unklar: Adaptationszeiten noch nicht untersucht



Herrling et al., 2021

Fazit

- Flussmündungen sind sensible Systeme
- Transportdynamik ist komplex, viele Wirkungsbeziehungen in unterschiedlichen Zeitskalen
- Nicht alle Prozesse sind verstanden, nicht alle bekannten Wirkungsbeziehungen in Modelle implementiert
- Bodenformen sind wichtiges Element in der Hydro-, Sediment-, und Morphodynamik mit Wirkung auf Rauheit, Asymmetrie, Transport
- Modell- und Messungsgestütztes Monitoring auf Prozessebene sollte offen begleitet und bewertet werden

