

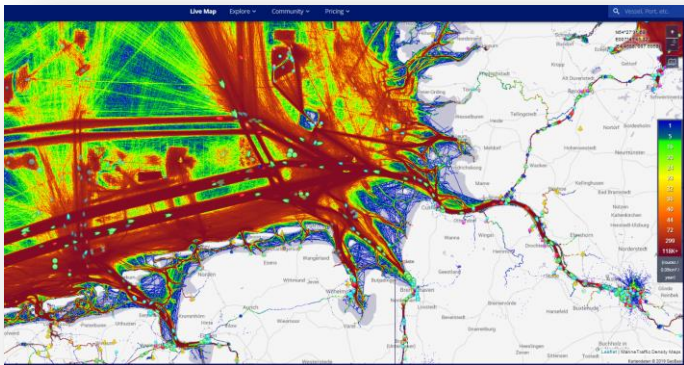
Auftreten und Wirkung von Bodenformen in Ästuaren

Christian Winter

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

Motivation

- Ästuare sind Brennpunkte von Interessenskonflikten
- Überlagerung natürlicher Wirkungsmechanismen und menschlicher Eingriffe
- Abschätzung der Folgen von Eingriffen erfordert bestes Systemverständnis
- Modelle (unterschiedlicher Komplexität) werden als Prognoseinstrument verwendet (Varianten), sind aber noch immer in der Entwicklung!



Marinetraffic.com

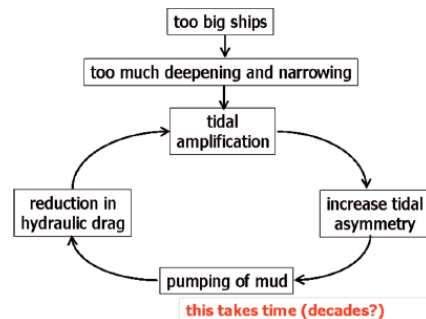
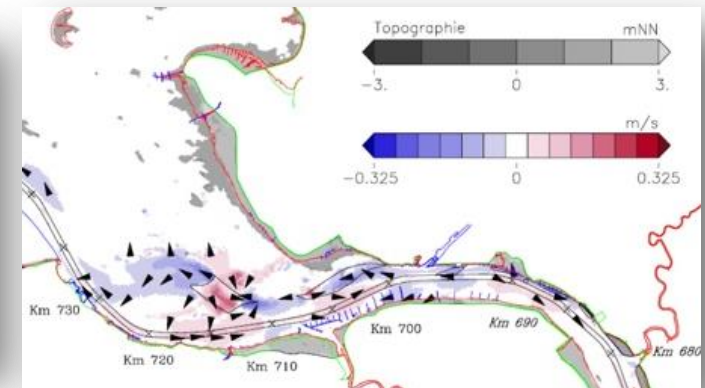


Fig. 19: Diagram showing the feed-back cycle in deepened and canalized estuaries leading to very small tidal damping and hyper-concentrated conditions.

Winterwerp, 2013



www.abendblatt.de



BAW

Bodenformen wirken als hydraulische Rauheit

Shear stress at the bed depends on Chezy roughness:

$$\vec{\tau}_b = \frac{\rho_0 g \vec{U} |\vec{U}|}{C_{2D}^2}$$

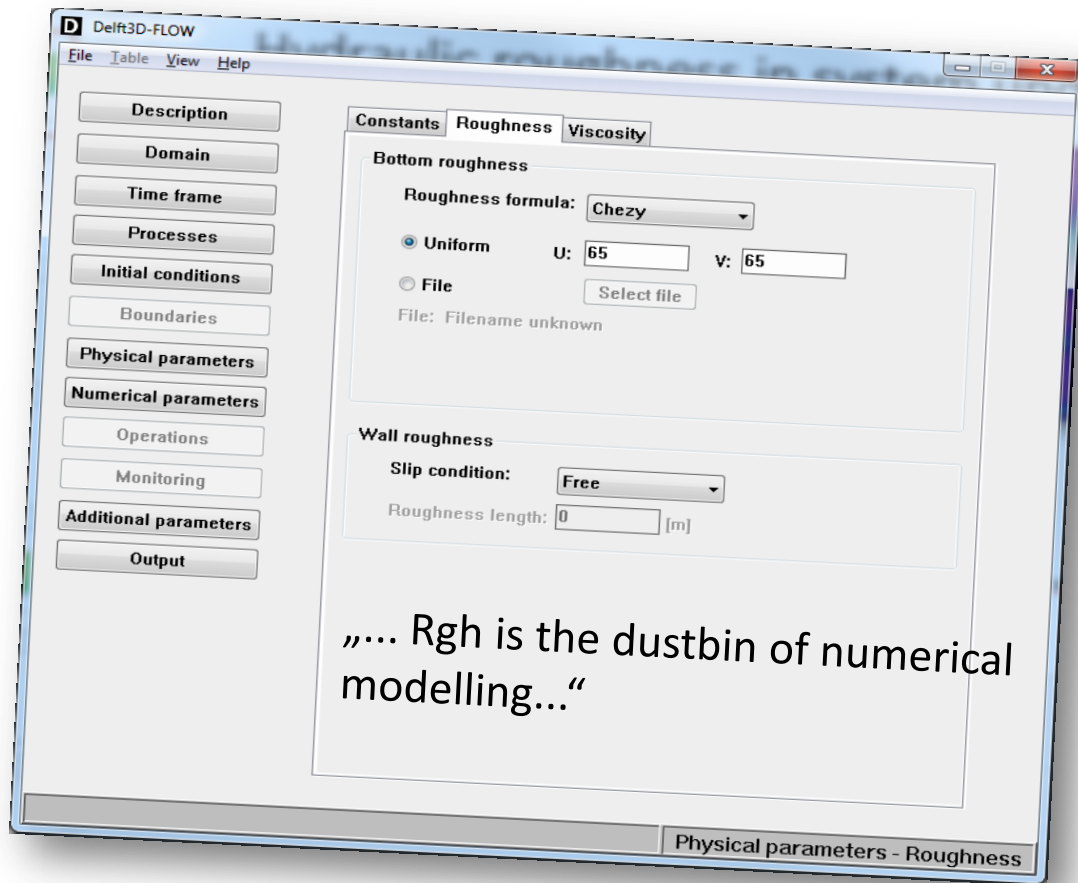
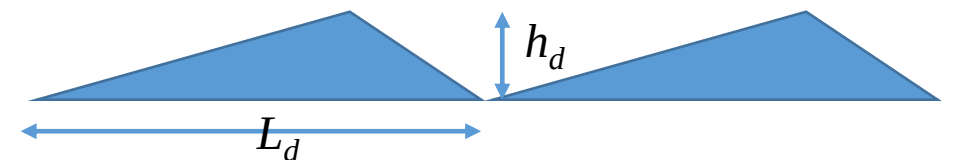
White Colebrook formulation for Chezy roughness:

$$C_{2D} = 18^{10} \log \left(\frac{12H}{k_s} \right)$$

Nikuradse roughness length (dunes):

$$k_{s,d} = 1.1 h_d \left(1 - e^{-25 h_d / L_d} \right)$$

Van Rijn (1984)



Bodenformen in Fließgewässern

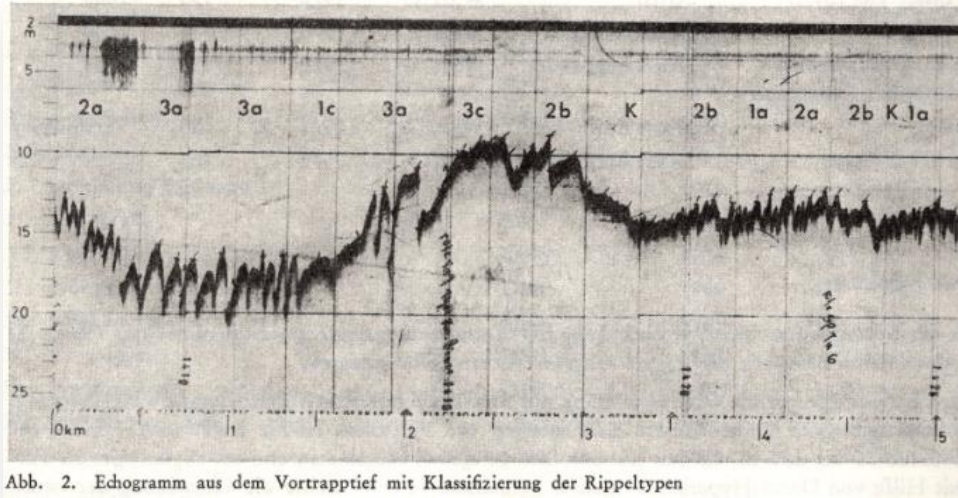
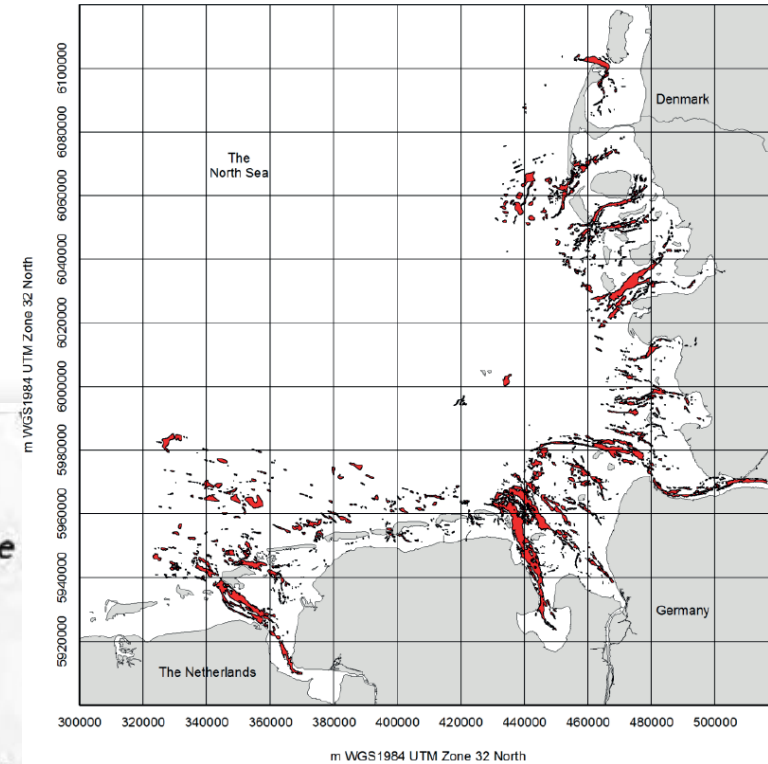
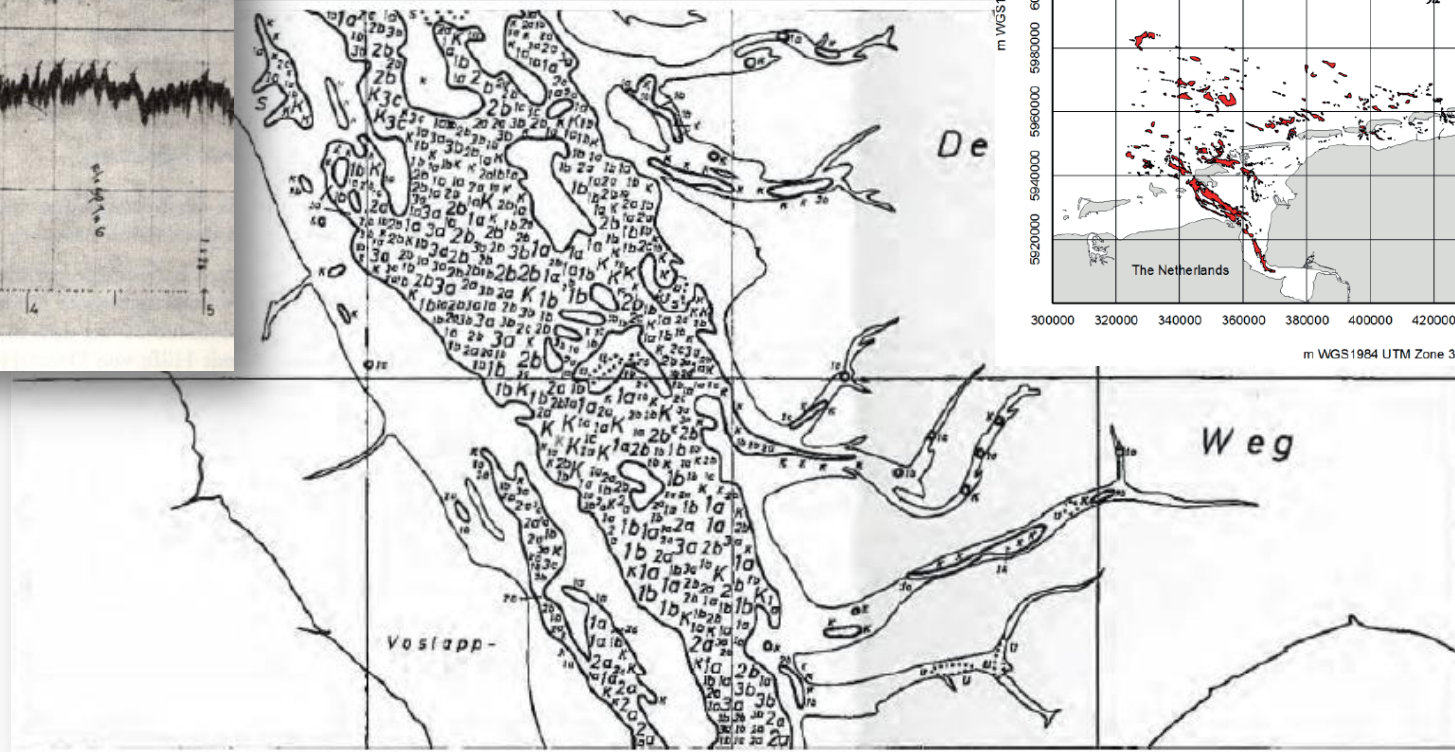


Abb. 2. Echogramm aus dem Vortrappptief mit Klassifizierung der Rippeltypen



ULRICH, J.: Die Verbreitung submariner Riesen- und Großrippeln in der Deutschen Bucht. Ergänzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift., Reihe B (4⁰). Nr. 14, 31, 1973.

Bodenformen in Ästuaren sind dynamisch (Transportkörper)

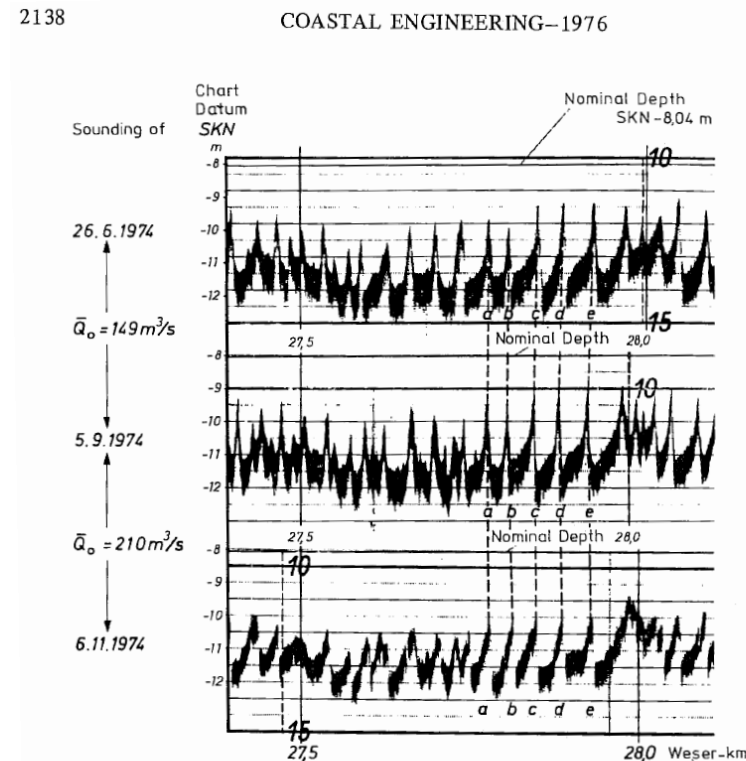
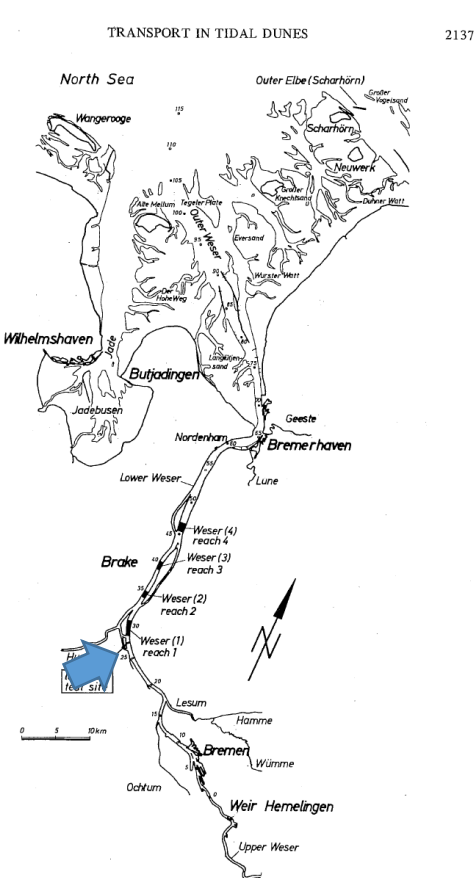


Fig. 2 Ecograph Recordings of the Weser River Bottom

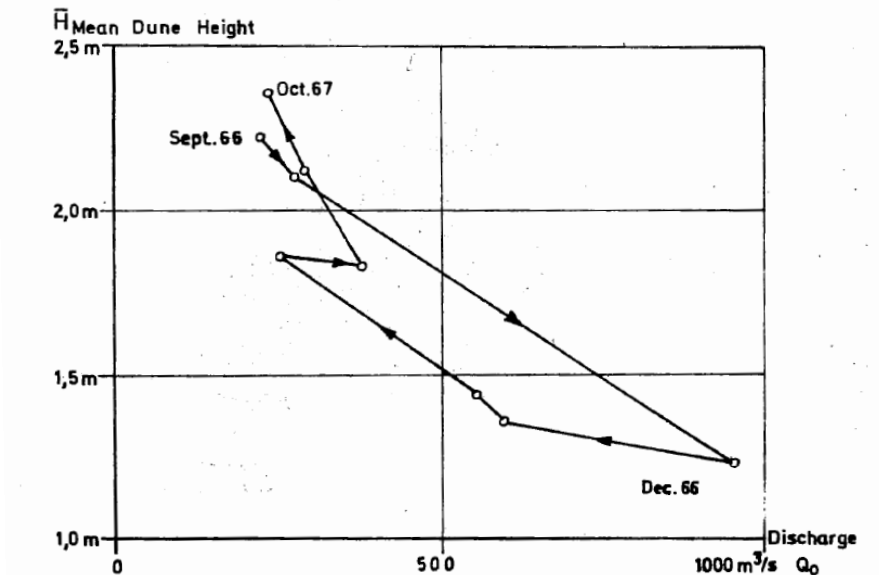
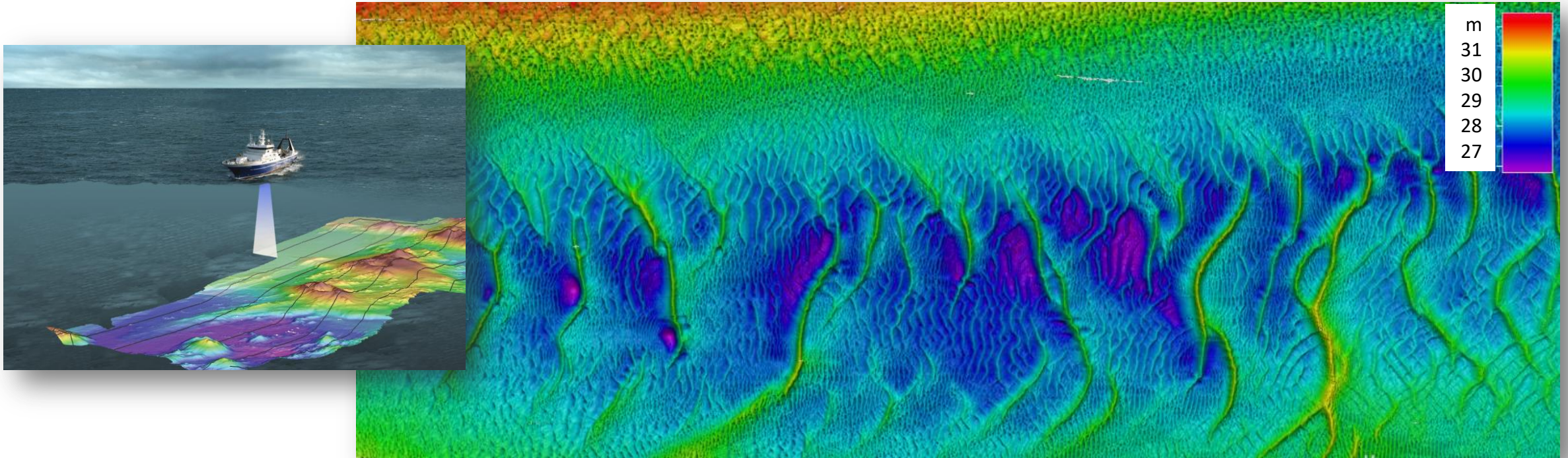


Fig. 3 Mean Dune-Height Discharge Curve for River Weser

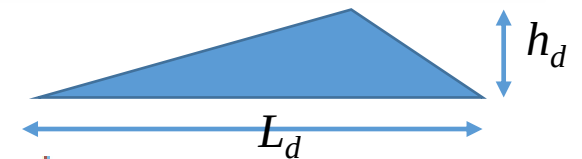
Nasner, H. 1976. Time Lag of Dunes for Unsteady Flow conditions. Proc. Int. Coastal Eng. Conf. Honolulu, Hawaii, 1976

Bodenformen revisited



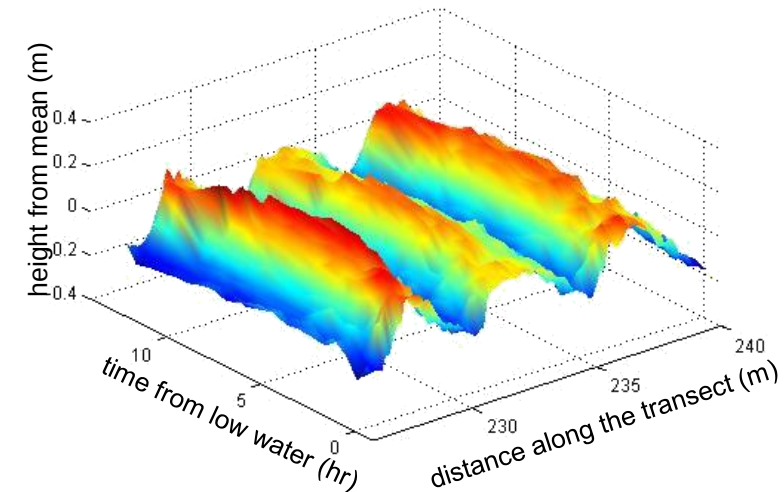
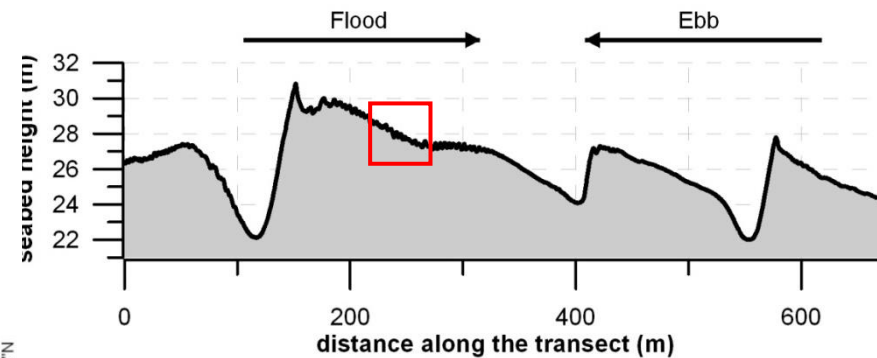
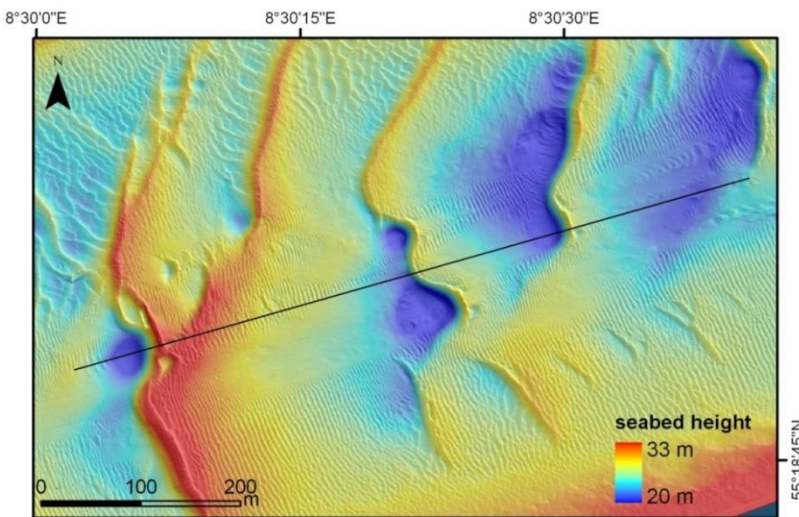
Neue Technologie ermöglicht eine neue Sicht
auf die Geometrie, Dynamik, Wirkung von
Bodenformen

$$k_{s,d} = 1.1h_d \left(1 - e^{-25h_d/L_d} \right) \quad ???$$



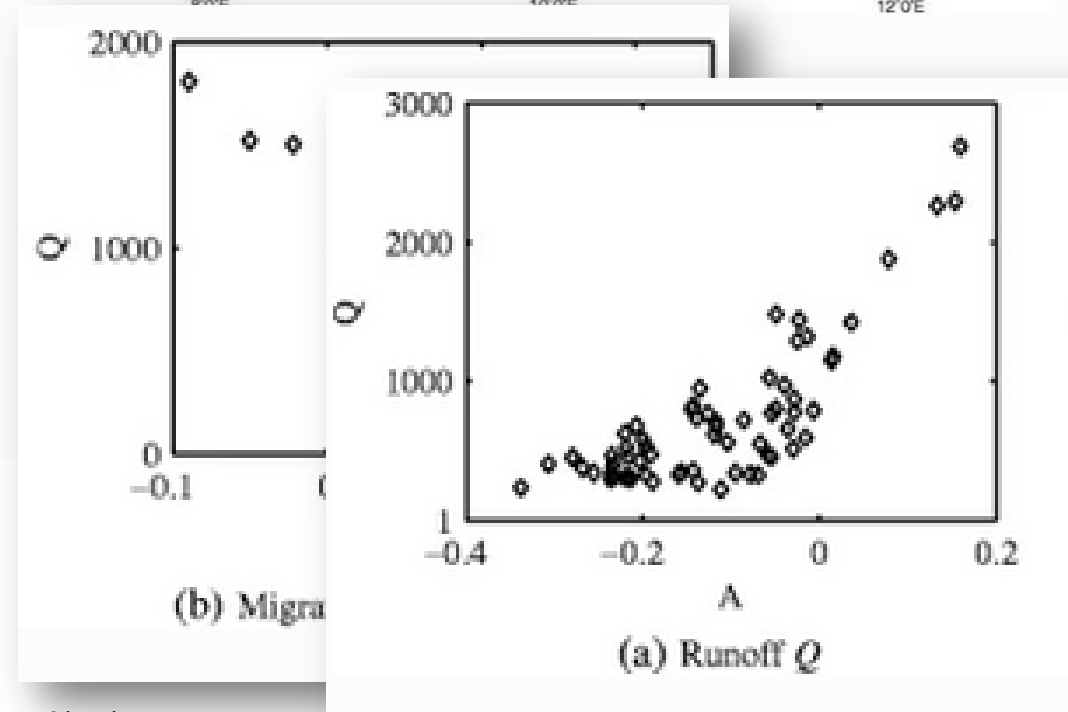
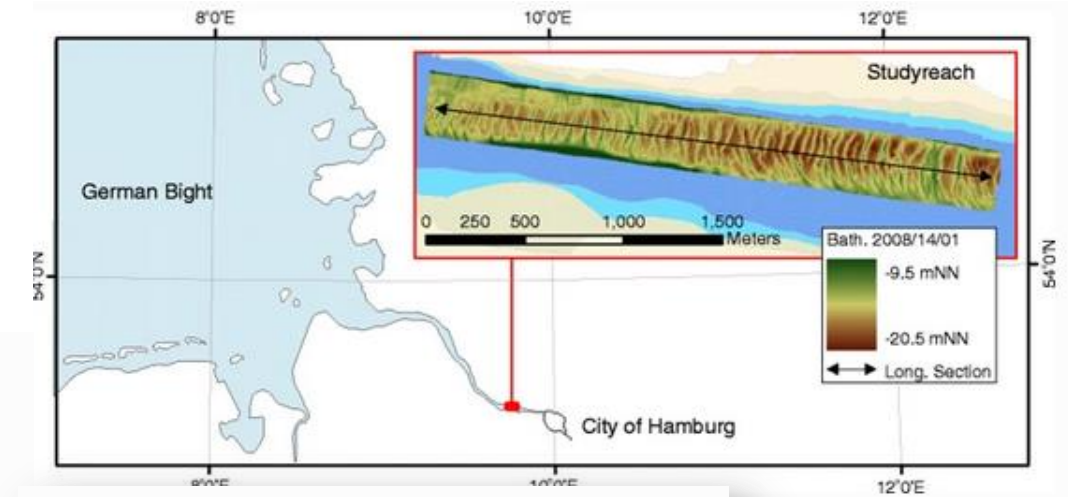
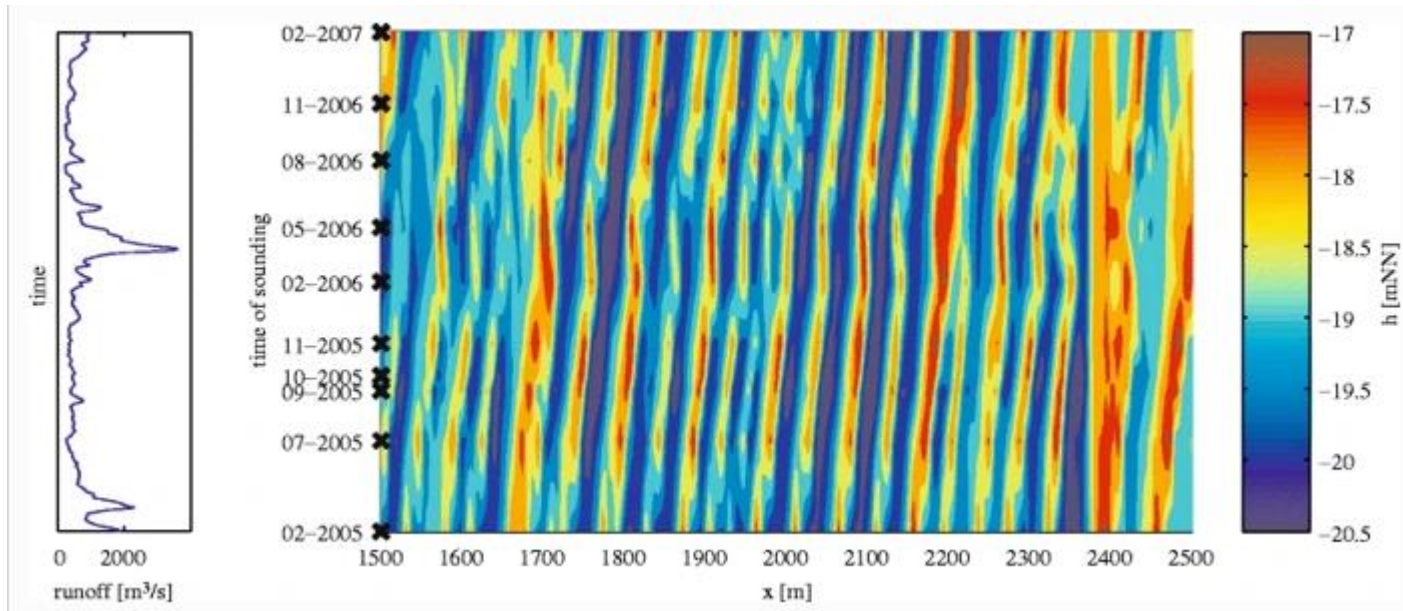
Dynamik von überlagerten Bodenformen (Seegatten)

- Primäre Bodenformen; $L = O(100\text{m})$; $H = O(\text{m})$; Asymmetrie $A = \text{const}$, $c = f(Q)$
- Sekundäre Bodenformen; $L = O(10\text{m})$; $H = O(\text{dm})$; Asymmetrie $A = f(\text{Tide})$, $c = f(\text{Tide})$



Ernstsen et al. (2005, 2006, 2008), Ferret 2014, ...

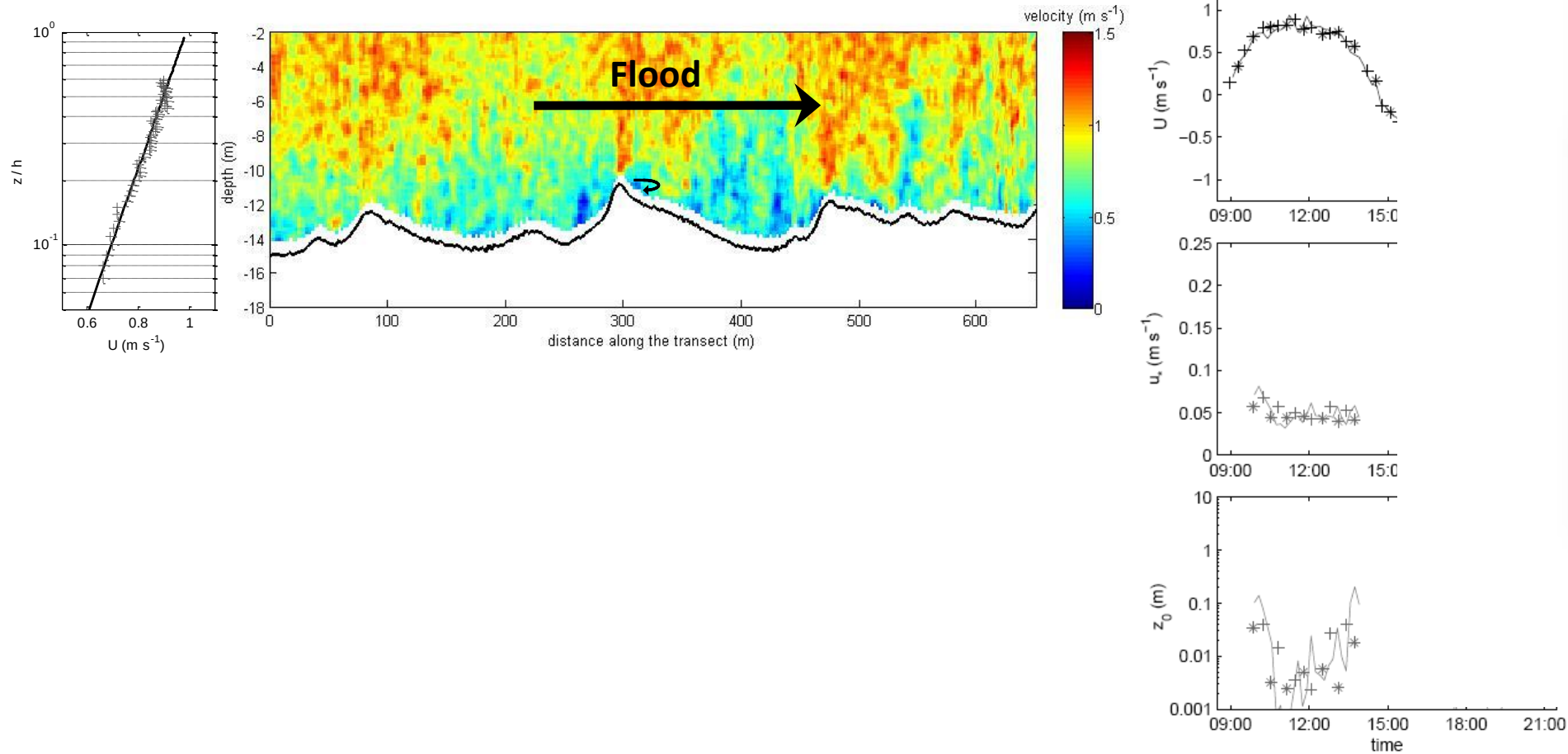
Zeitliche Dynamik in Ästuaren



Primäre Bodenformen; $L = O(50m)$; $H = O(m)$; Asymmetrie $A=f(Q)$ $c=f(Q)$

Zorndt, Wurpts, Schlurmann, 2011

Hydraulische Wirkung asymmetrische Bodenformen



Rauheitswirkung primärer Bodenformen nur während Ebbströmung!

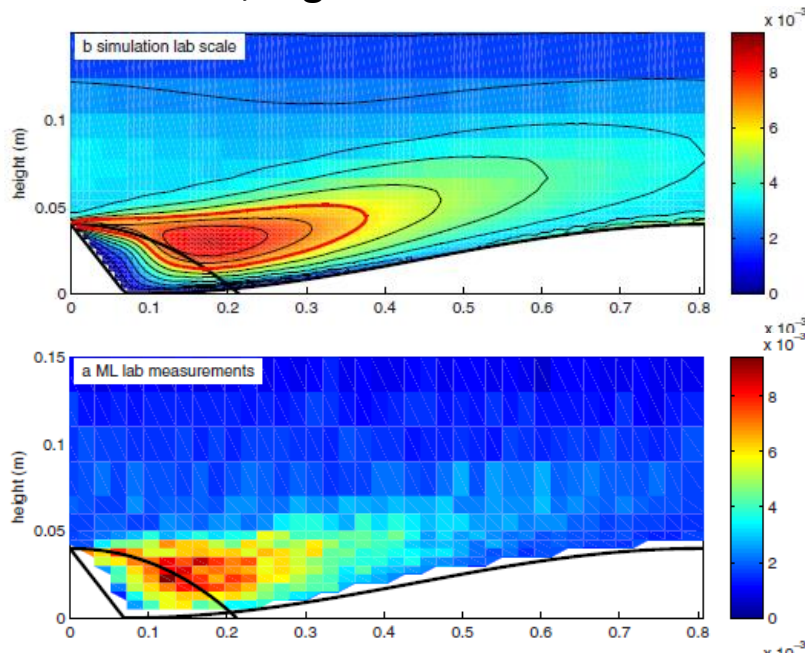
Lefebvre et al., 2013.



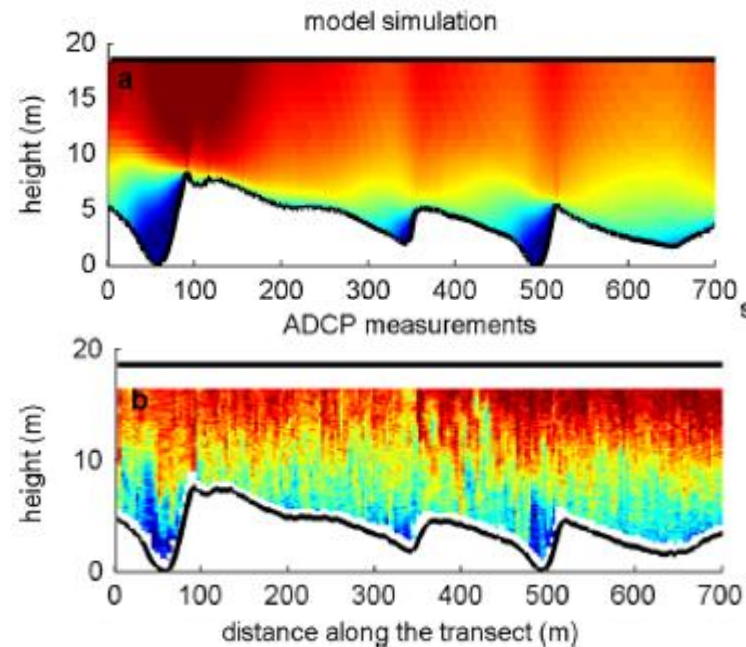
Lefebvre et al, Ocean Dynamics, 2011

Modellierung der Wirkung asymmetrischer Bodenformen

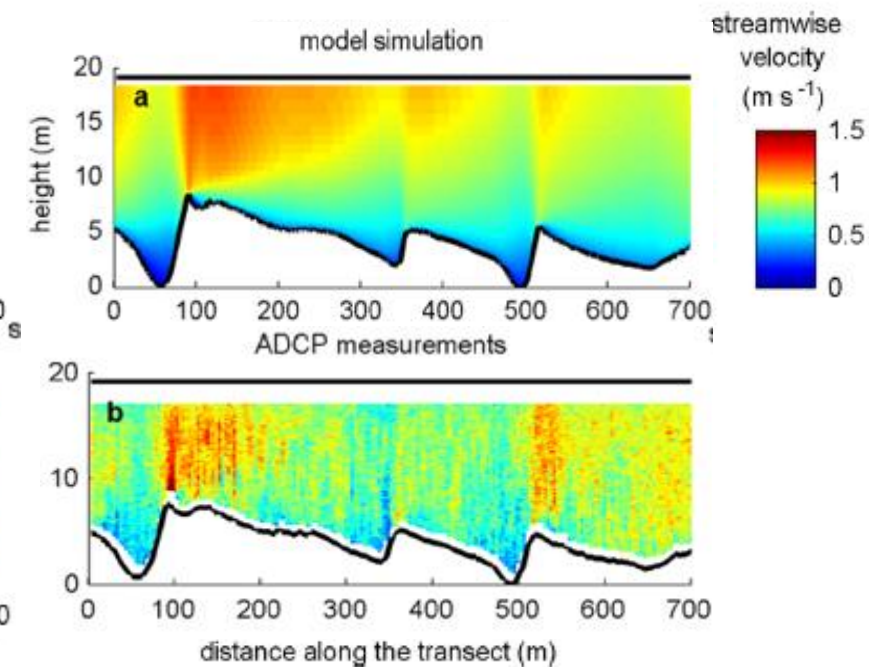
Lab scale, e.g. TKE



Field scale Vel Max ebb



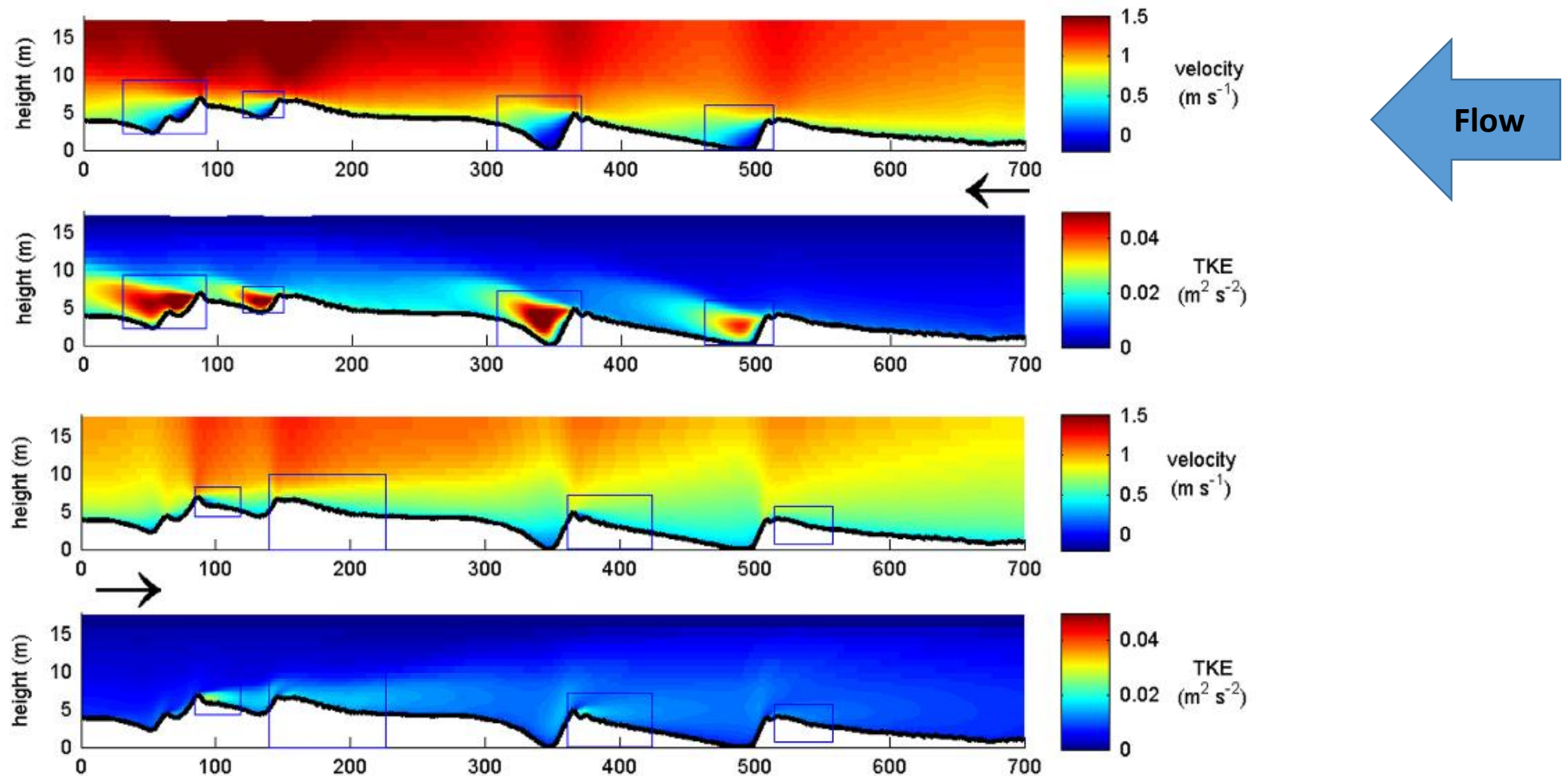
Max flood



non-hydrostatic RANS modelling of flow over bedforms → evaluation of bed roughness predictors

Lefebvre et al., WRR 2014; CSR 2014

Modellierung der Wirkung asymmetrischer Bodenformen



→ **Opposite flow direction:** recirculation does not develop over the gentle downstream side of the dune → TKE is small

Evaluation von Rauheitsprädiktoren

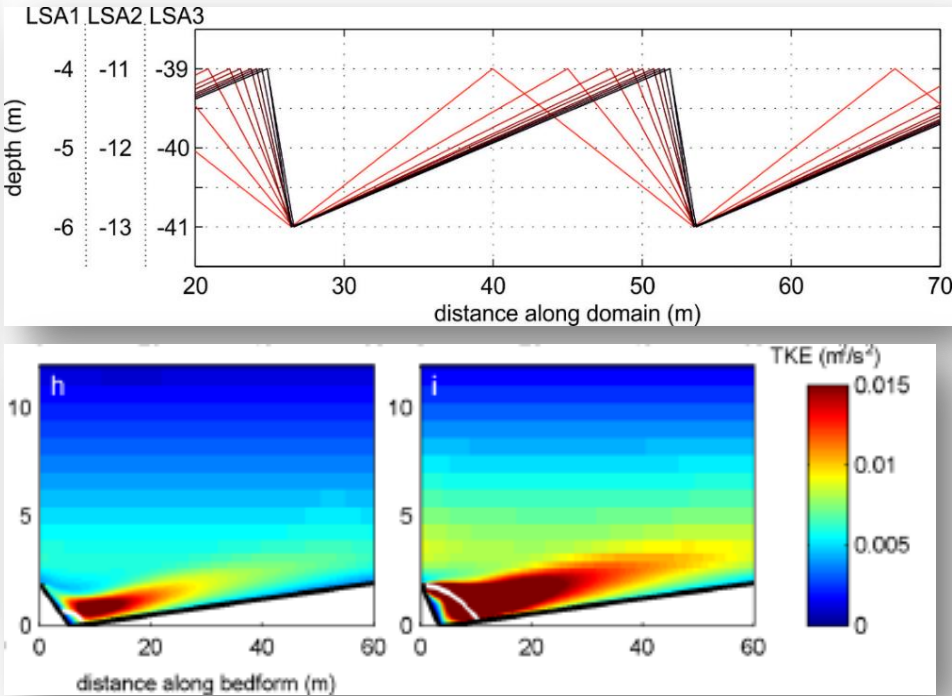
„Prediction“

Table 1 Form roughness predictors

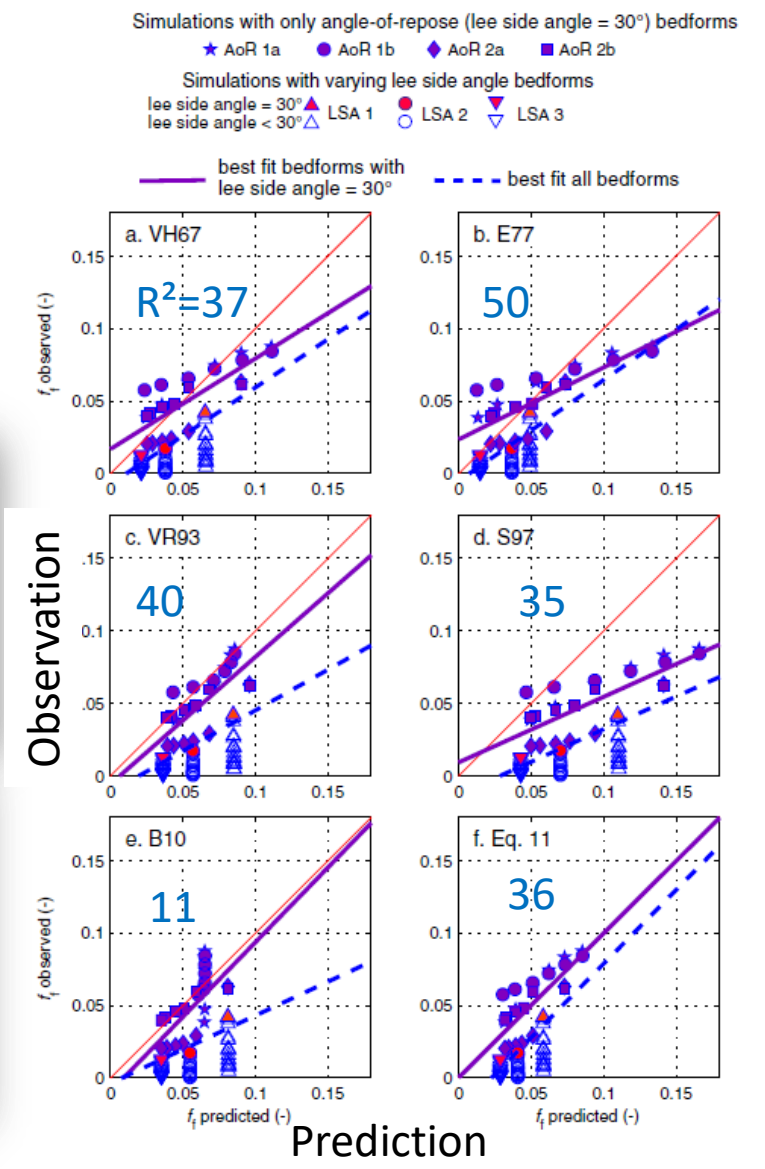
Equation	Reference
$f_f = \left(\frac{1}{3.3 \log \left(\frac{H}{H_s} \right) - 2.3} \right)^2$	VH67, Vanoni and Hwang (1967)*
$f_f = 10 \frac{H^2}{hL} \exp(-2.5 \frac{H}{h})$	E77, Engelund (1977)*
$f_f = \frac{8g}{\left(18 \log \frac{12k_s}{k'_s} \right)^2}$ with $k'_s = 1.1 \gamma_d H (1 - \exp(-25H/L))$ and $\gamma_d = 1$ for angle-of-repose bedforms and 0.7 for non-angle-of-repose bedforms	VR93, Van Rijn (1993)
$f_f = \frac{8g}{\left(18 \log \frac{12k_s}{k'_s} \right)^2}$ with $z_{0b} = \frac{H^2}{L}$	S97, Soulsby (1997)
$f_f = \frac{8g}{\left(18 \log \frac{12k_s}{k'_s} \right)^2}$ with $k'_s = 0.57H$	B10, Bartholdy et al. (2010)

Darcy Weisbach friction factor

„Observations of similar H/L“
f from modelled water surface slope



rarely measured, so model based evaluation



Lefebvre & Winter GMLE, 2016

INSTITUT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN
AG KÜSTENGEOLOGIE UND SEDIMENTOLOGIE

Korrektur von Prädiktoren

concept by Ogink (1984):
form roughness can be
expressed by lee slope

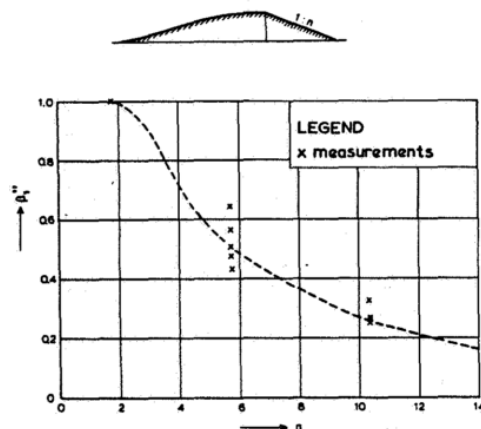


Figure 20 Reduction of form roughness due to the slope of the lee-side of a dune (Ogink, 1984a)

$$\gamma = \frac{1}{1 + e^{-0.3\theta + 5.9}}$$

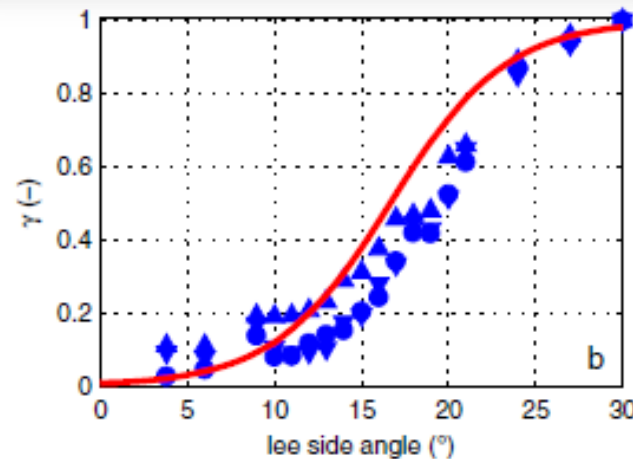
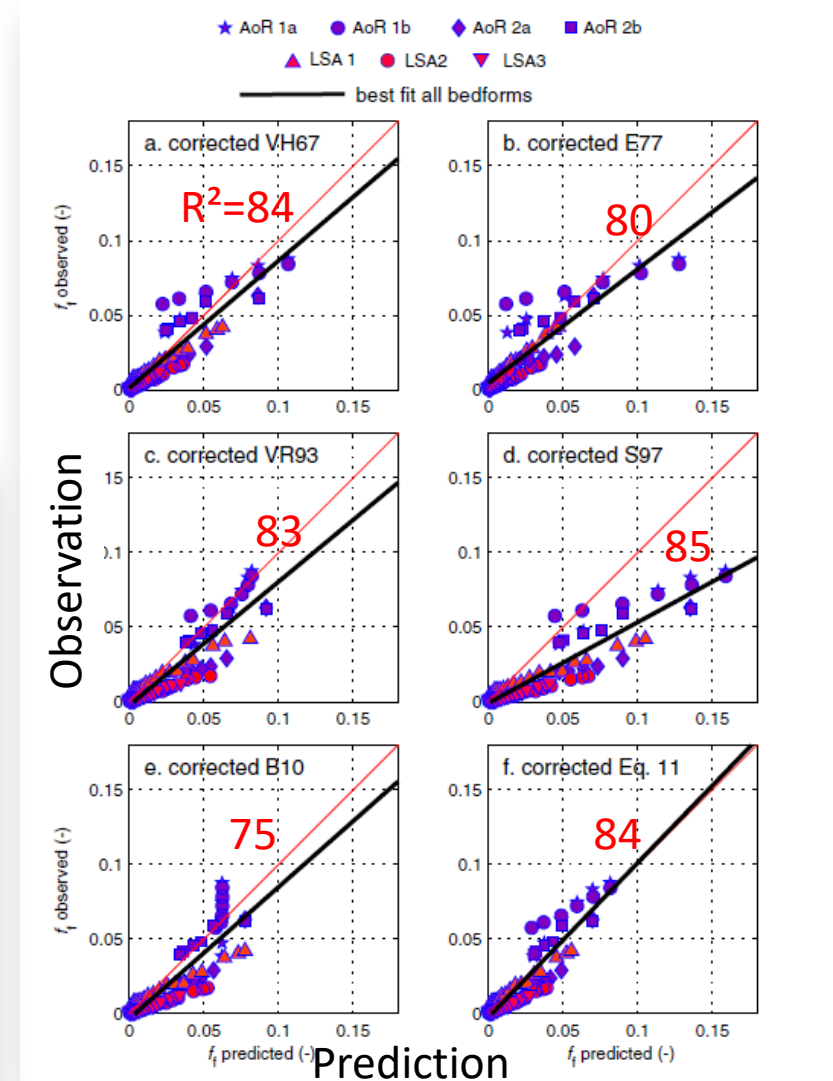


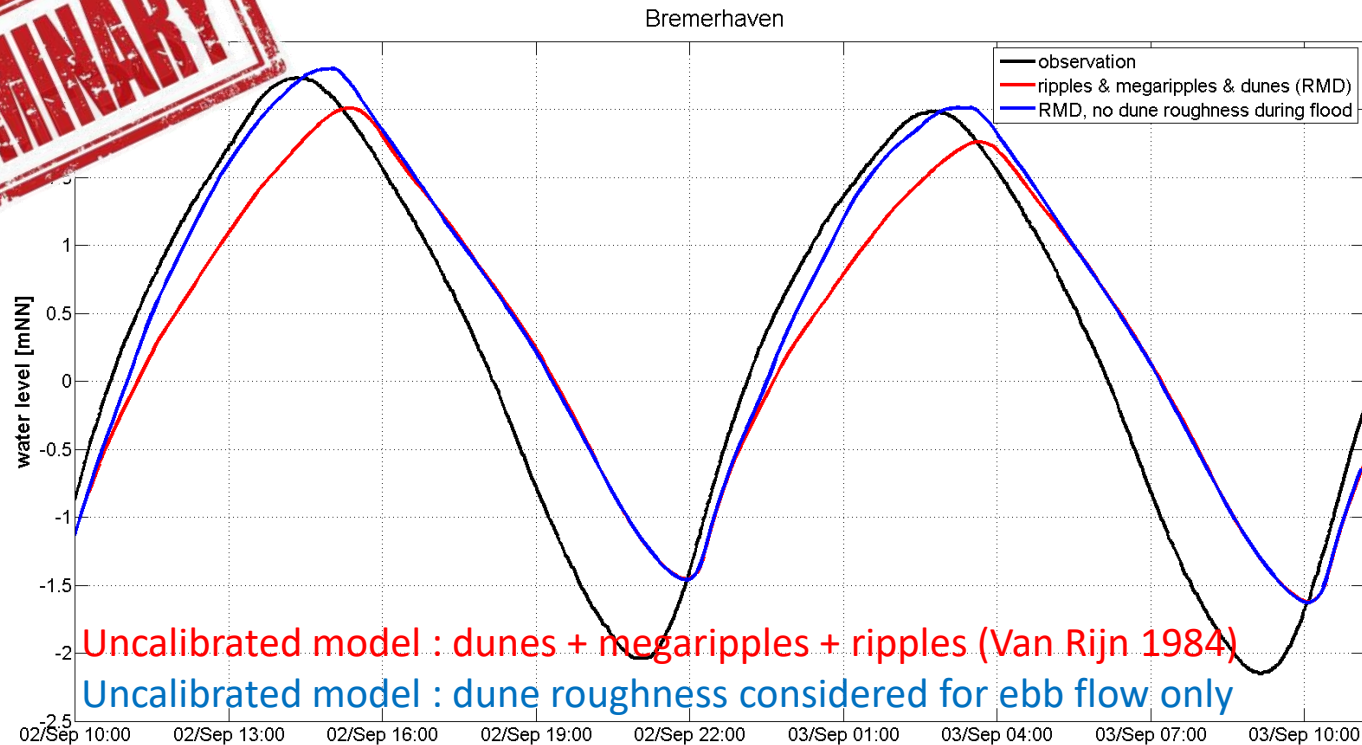
Fig. 4 Form friction factor (a) and reduction factor (b) as a function of lee side angle; the red line in b is Eq. 13; see Table 2 for details of simulation settings



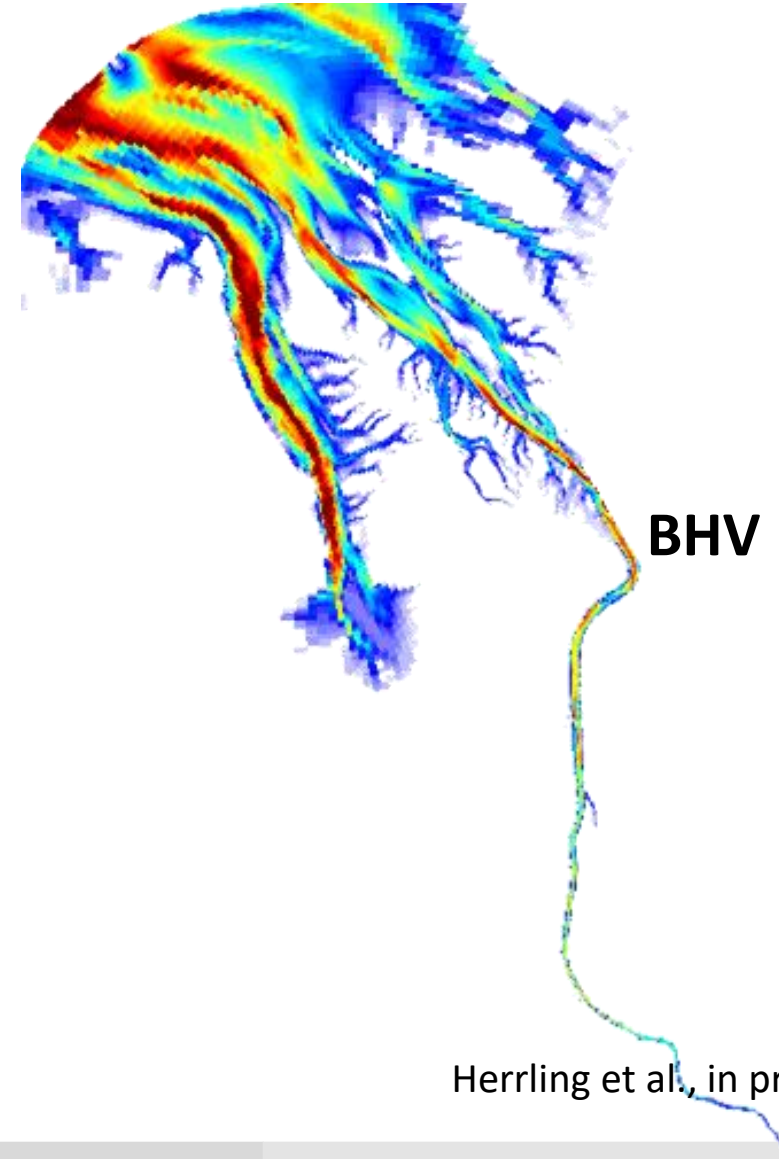
Lefebvre & Winter GMLE, 2016

Großskalige Wirkung asymmetrischer Bodenformen

PRELIMINARY!

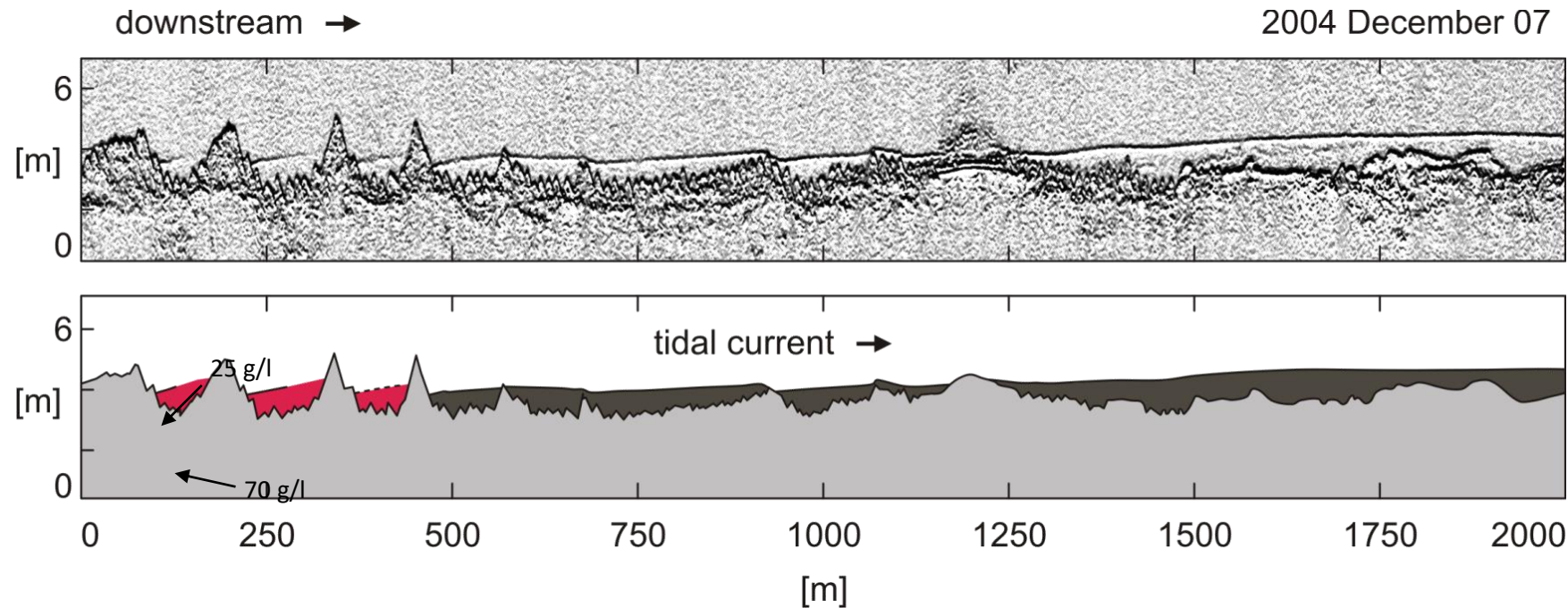


Unkalibriertes Modell zeigt Wirkung von Bodenformen auf Systemskala

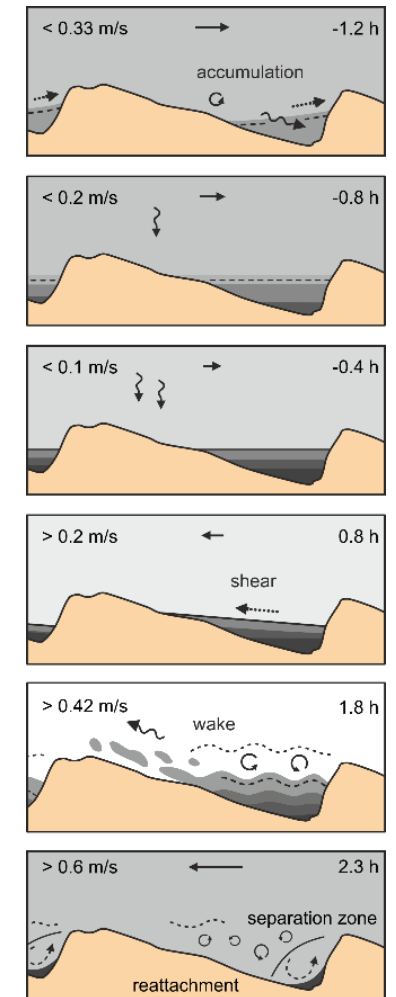


Herrling et al., in prep.

Interaktion Flüssigschlick und Bodenformen

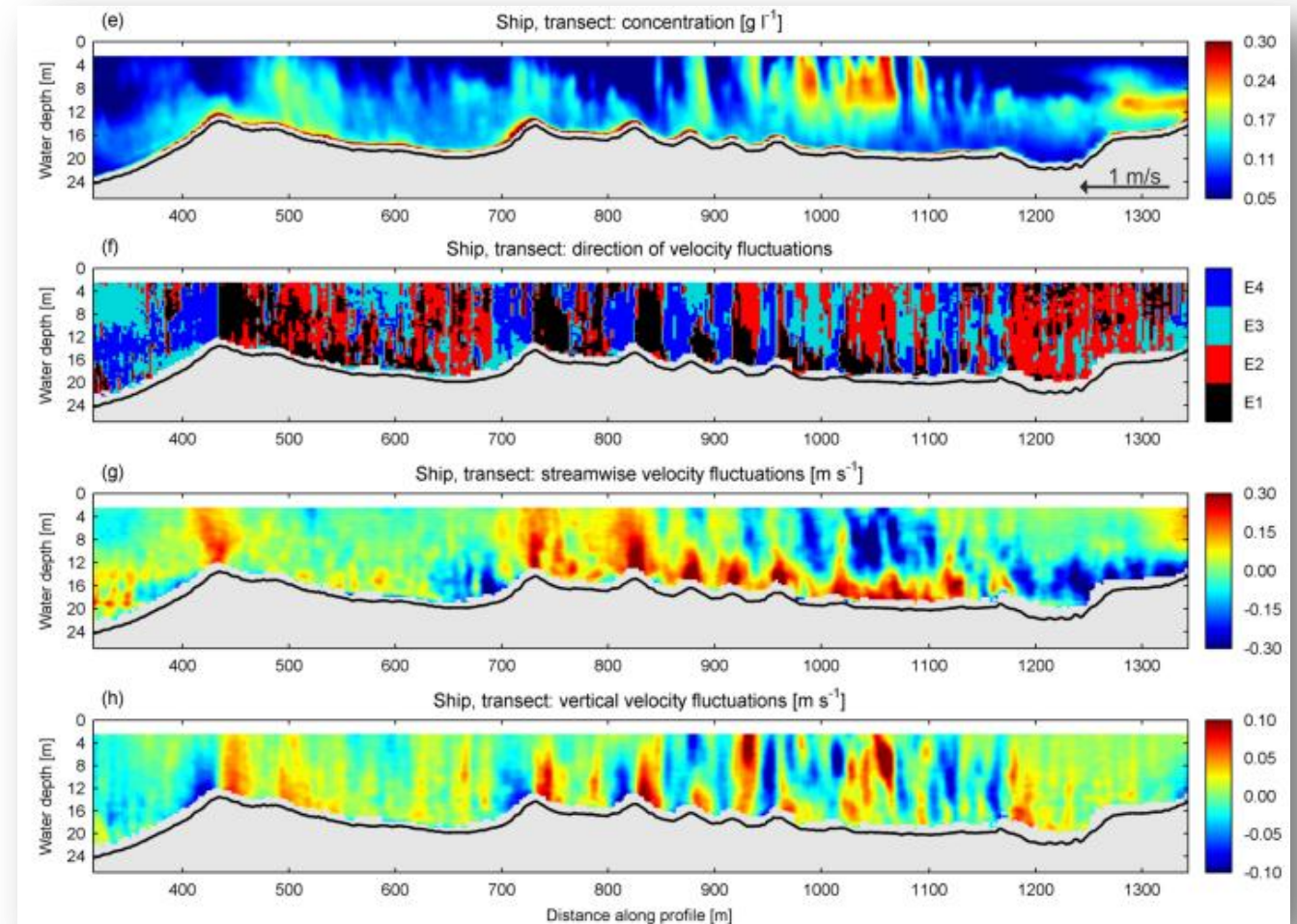


Wirkung von Bodenformen auf Resuspension von Flüssigschlick in Dünentälern bei Stauwasser



Becker et al. 2013. Formation and entrainment of fluid mud layers in troughs of subtidal dunes in an estuarine turbidity zone. JGR

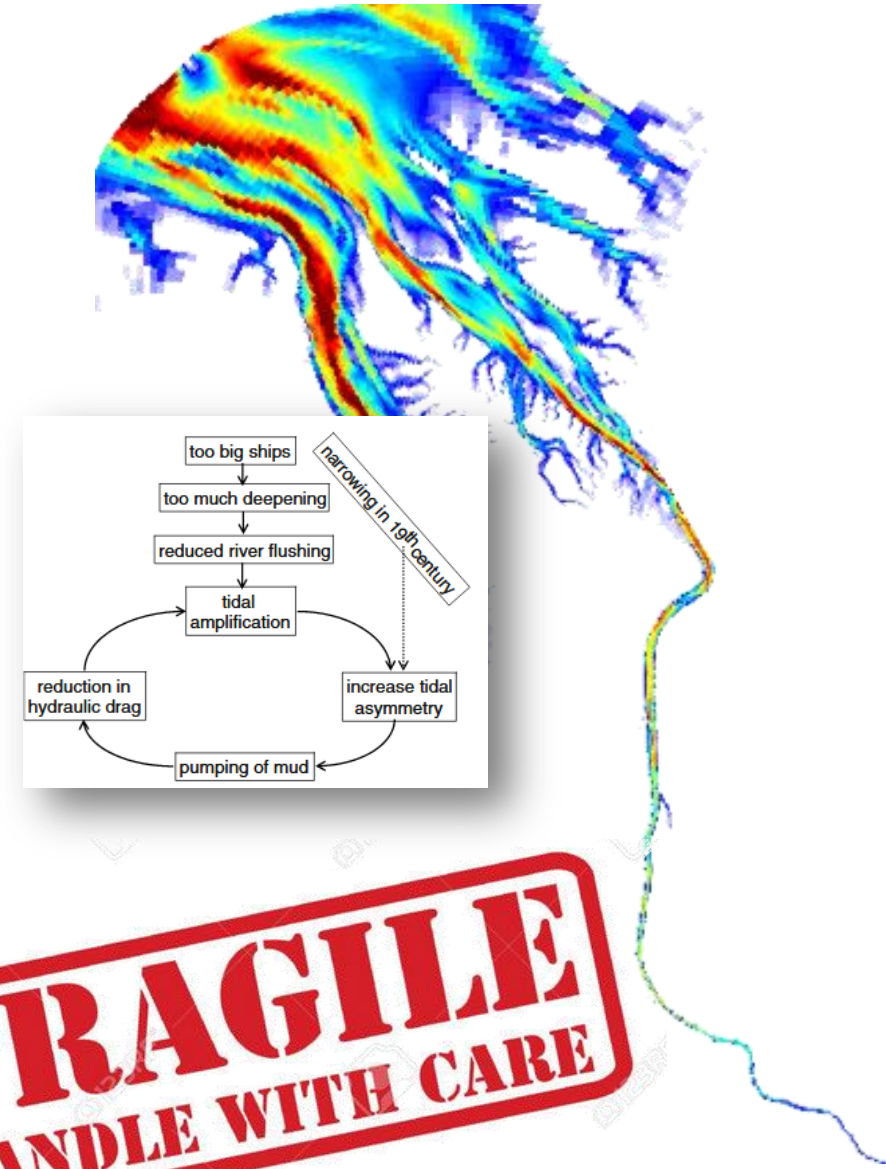
Wirkung von Bodenformen auf Transport suspendierter Sedimente



Trübungswolken: Suspension von Schwebstoffen in kohärenten Strukturen

Fazit

- Flussmündungen sind sensible Systeme
- Nicht alle Prozesse sind verstanden, nicht alle Entwicklungen sind prognostizierbar
- Bodenformen als wichtiges Element in der Hydro-, Sediment-, und Morphodynamik
- Wirkung auf Rauheit, Asymmetrie, Transport...
- Modellsysteme sollten den Stand des Wissens implementieren: Forschungsbedarf!
- Ausbaumaßnahmen sollten durch Monitoring auf Prozessebene begleitet werden



Vielen Dank

- Mitarbeiter: Alice Lefebvre, Gerald Herrling, Marius Becker, Knut Krämer, Verner Ernstsén, Anna Zorndt, Frank Kösters
- Daten: WSV, BSH, BAW
- Förderung: DFG, BAW, KMS
- Zuhören und Diskussion: Ihnen!

