



Oliver Chmiel & Andreas Malcherek (UniBwM)  
Marie Naulin & Holger Rahlf (BAW)

# MudEstuary - Die Beeinflussung der Dynamik der Tideästuare durch Flüssigschlick

KFKI Seminar 2015

Bremerhaven, 25. November 2015

---

# Inhalt

## 1. Motivation und Ziele

- Überblick zum Forschungsprojekt: “MudEstuary”
- Stand der Forschung und Ziele

## 2. Modellkonzept

## 3. Laborversuche

- Turbulenzmessungen im Übergangsbereich von Wasser zu Flüssigschllick

## 4. Numerisches Modell

- 1DV-Modell: Kontinuierlicher Übergang von Turbulenz zu Schlickrheologie

## 5. Zusammenfassung & Ausblick



# Motivation



Trailing suction hopper dredger at the Ems Estuary



# Ziele und Überblick - Projekt „MudEstuary“

**Ziel:** Entwicklung eines numerischen Moduls zur Simulation der Tidedynamik unter dem Einfluss von Flüssigschlick.

**Laufzeit:** Juni 2015 – Mai 2018

## Teilprojekt A: Modellviskosität

**Institution** Universität der Bundeswehr München

**Aufgaben:** Untersuchung der Interaktion von Turbulenz und Flüssigschlickrheologie in geschichteten, granularen Strömungen.

**Methoden:** Laborversuche

## Teilprojekt B: Numerische Simulation des Emsästuars

**Institution:** Bundesanstalt für Wasserbau

**Aufgaben:** Numerische Integration von Turbulenz und Flüssigschlickrheologie und Anwendung für das Ems Ästuar.

**Methoden:** Numerische Simulationen



Rheometer (Malcherek & Cha, 2011)



HN-Modell der Ems



# Überblick: Interaktion der Tidedynamik und Flüssigschlick

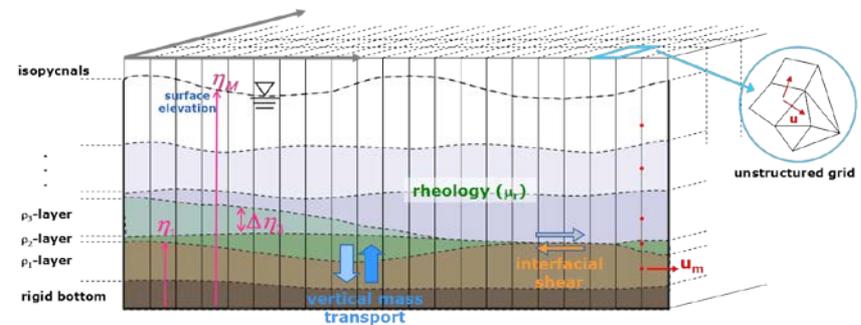
## HN-Modell & susp. Sediment



z.B. UnTRIM  
Emsmodell  
(BAW, 2014)

- Transport von suspendierten Sediment
- Transport von Salz
- Turbulenz (z.B.  $k-\varepsilon$ -Modell)

## Fluid Mud Modell



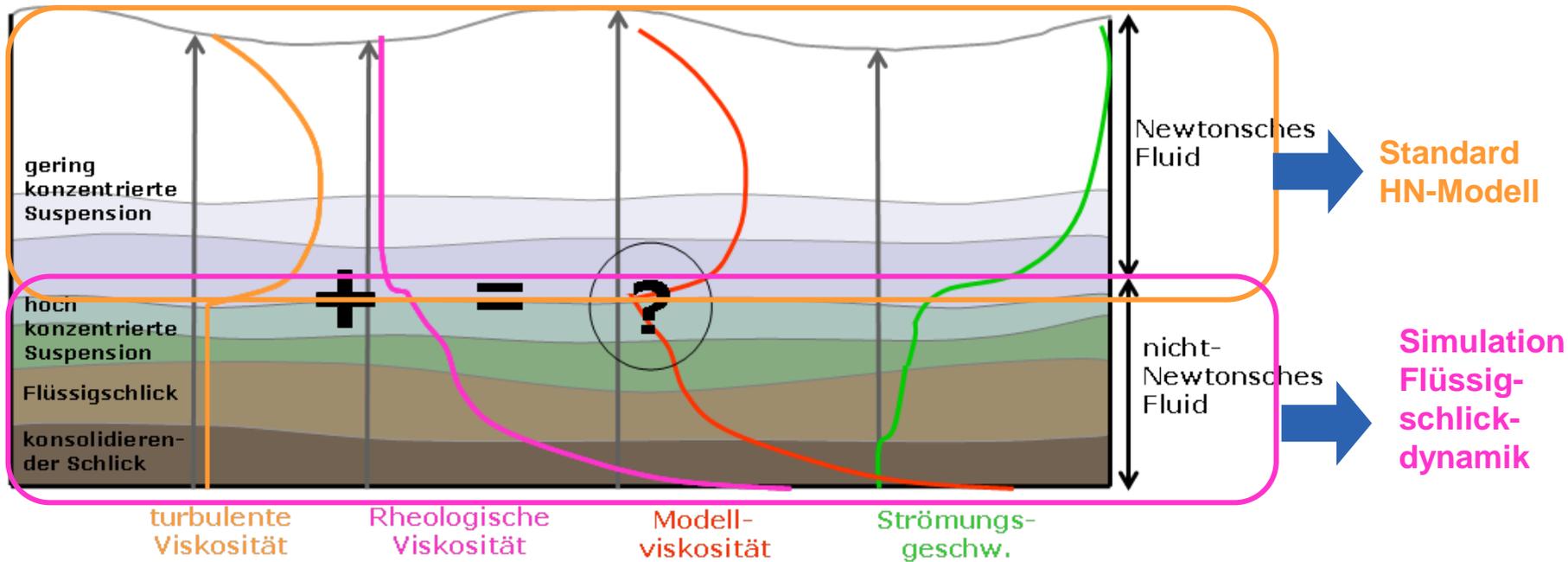
z.B. MudSim (Wehr, 2012)

- Flüssigschlickdynamik
  - Rheologisches Modell
- (KFKI-Projekte: Flüssigschlick & MudSim)

**MudEstuary:  
Kopplung & Verifizierung**



# Modellkonzept „MudEstuary“



$$V_{\text{eff}} = V_t + V_{\text{rh}}$$

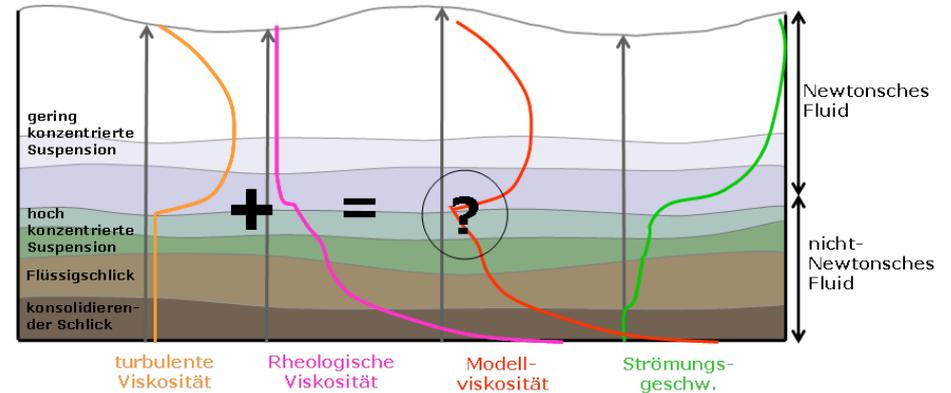
Quellen: e.g. Le Hir et al. (2001), Roland et al. (2012)



# Modellparameter MudEstuary

Modellparameter zur Verifizierung des Konzepts:

- Viskosität
- Dichte/Konzentration



Reynoldsgleichungen

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( v_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + v_t \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + f_i$$

Transportgleichung

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u_j \frac{\partial c}{\partial x_j} + \frac{\partial w_s c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( K_t \frac{\partial c}{\partial x_j} \right)$$

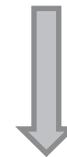


# Modellparameter MudEstuary – Ermittlung der Viskosität

- Turbulente Viskosität
- Rheologische Viskosität (MudSim)



k-epsilon Turbulenzmodell



$$v_{\text{eff}} = v_t + v_{\text{rh}}$$

# Laborversuche zur Turbulenzmessung

## Zirkulierende Strömung

- Einsetzbar für kohäsives Sediment
- Rotierende Antriebsräder
- Gezielte Suspensionen
- Maximaler Füllstand: 0.24 m

## Turbulenzdämpfung

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k + G - \varepsilon$$

$$G = \frac{1}{\rho_b} \frac{v_t}{\sigma_s} g \frac{\partial \rho}{\partial z}$$

➔ Turbulenzmessung mit definierten Konzentrationen.



# Laborversuche zur Turbulenzmessung

## Messung von Dichte und Turbulenz

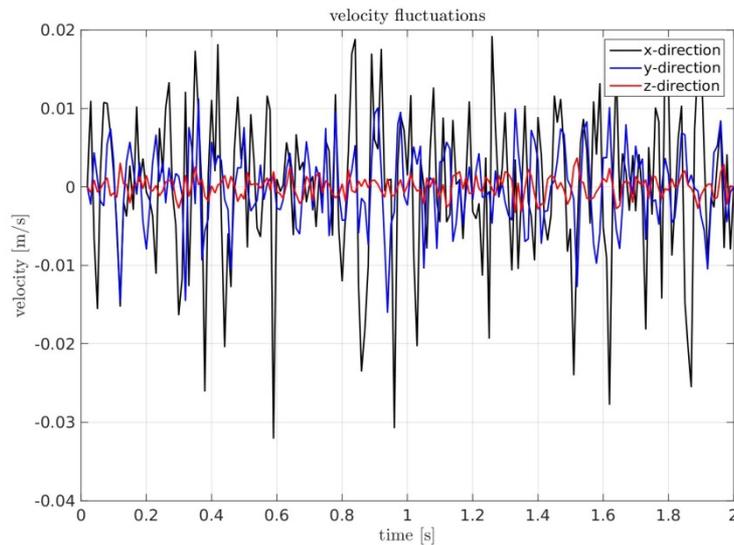
$$Ri_g = -\frac{g}{\rho_b} \frac{\partial \rho / \partial z}{(\partial u / \partial z)^2}$$



Liquiphant



Vectrino II



# 1DV-Modell: Kombination von Turbulenz und Schlickrheologie

## Annahmen für das 1DV-Modell

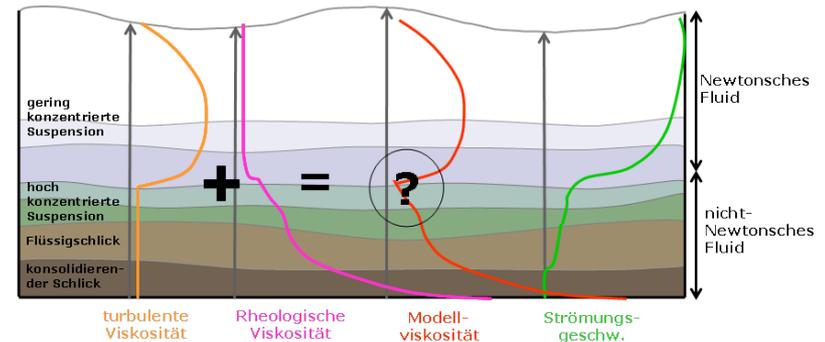
- instationär, gleichförmiger Abfluss

## Zugrunde liegende Gleichungen

- Impuls 
$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = \mathbf{v}_{eff} \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} + g \sin \alpha$$
- Transport 
$$\frac{\partial c}{\partial t} = \kappa_t \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - \frac{\partial w_c c}{\partial z}$$
- TKE 
$$\frac{\partial k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right) + P_k + G - \varepsilon$$
- Dissipation 
$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + \frac{\varepsilon}{k} (C_{1\varepsilon} P_k - C_{2\varepsilon} \varepsilon)$$

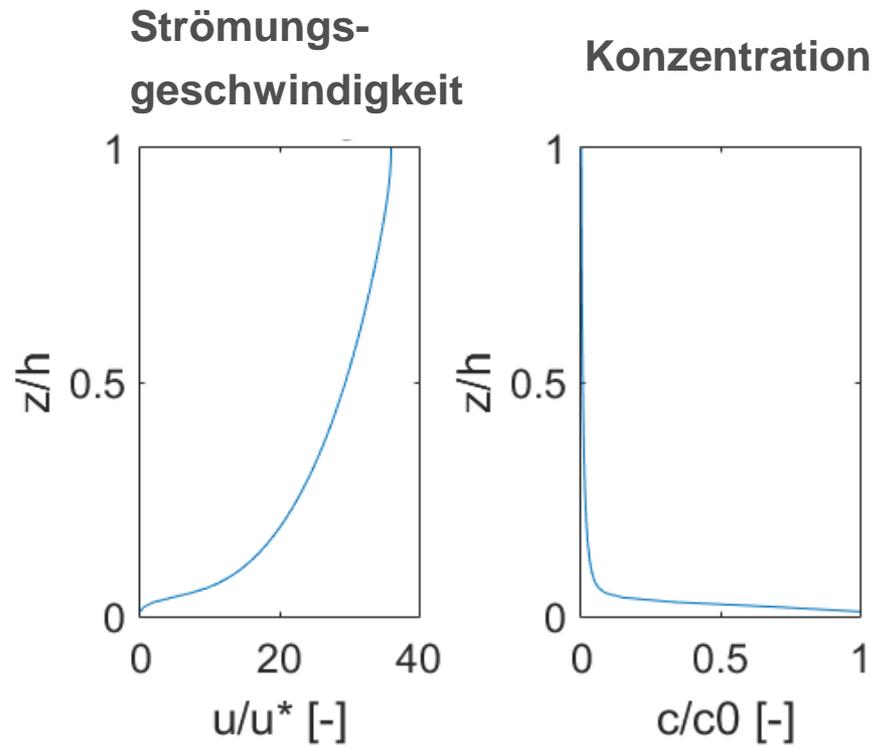
- Rheologische Viskosität  $v_{rh}$  Bingham Fluid parametrisiert für das Ems Ästuar von Malcherek & Cha (2011)

- Implementierung in MatLab



# Zwischenergebnisse des 1DV-Modells: Strömungsgeschwindigkeit & Konzentration

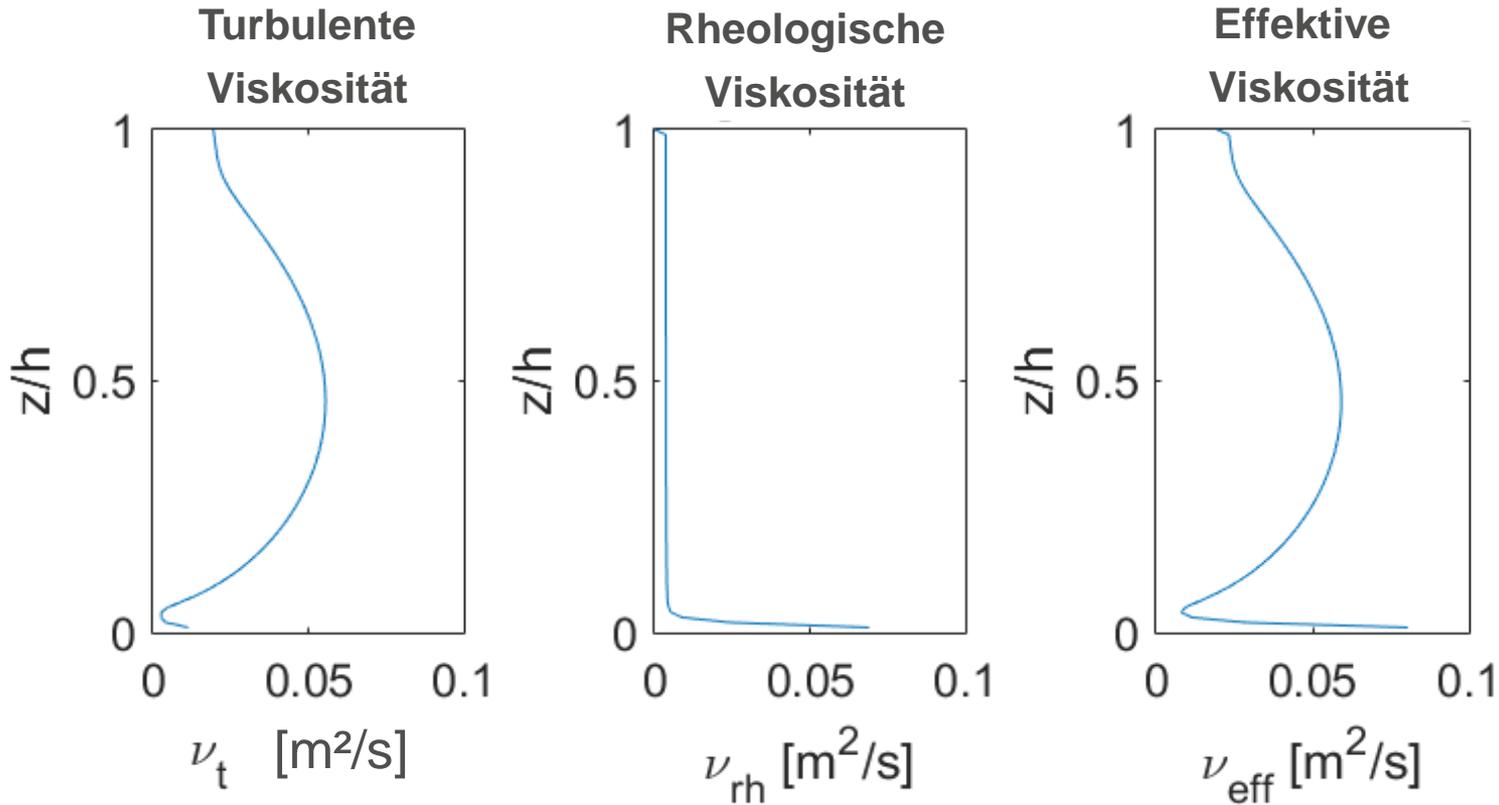
---



**Legend**  
k-ε-model with  
buoyancy damping &  
Bingham



# Zwischenergebnisse des 1DV-Modells: Viskositäten



**Legende**  
k- $\epsilon$ -Modell inkl.  
Turbulenzdämpfung  
& Bingham



# Zusammenfassung & Ausblick

---

## Ziele des Projekts MudEstuary

Entwicklung eines numerischen Moduls zur Simulation der Tidedynamik unter dem Einfluss von Flüssigschlick.

## Numerisches Model

- Kombination von Turbulenz und Schlickrheologie im 3D-Modell
- Numerische Nachbildung der Laborversuche
- Anwendung für die Ems und Vergleich historischer Szenarien

## Laborversuche

- Turbulenzmessungen in künstlich erzeugten geschichteten Strömungen
- Erzeugung von Messdaten zur Kalibrierung des numerischen Modells
- Physikalische und numerische Beschreibung der Turbulenz im Übergang zu Flüssigschlick



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Wir freuen uns über Ihr Feedback.  
[marie.naulin@baw.de](mailto:marie.naulin@baw.de)  
[oliver.chmiel@unibw.de](mailto:oliver.chmiel@unibw.de)



# References

---

- BAWiki
- Booij (1994): Measurement of the flow field in a rotating annular flume. Report no. 94-2, Delft University of Technology.
- Le Hir et al. (2001): Application of the continuous modeling concept to simulate high-concentration suspended sediment in a macrotidal estuary. Coastal and Estuarine Fine Sediment Processes, 3: Elsevier Science, 229-247.
- Malcherek & Cha (2011 ): Zur Rheologie von Flüssigschlick: Experimentelle Untersuchungen und theoretische Ansätze – Technical Report, Universität der Bundeswehr München.
- Roland et al. (2012): Über Strömungsmodelle auf unstrukturierten Gitternetzen zur Simulation der Dynamik von Flüssigschlick. Die Küste, 79.
- Toorman (2000): Parameterization of turbulence damping in sediment-laden flow. Technical Report COSINUS 3. Katholieke Universiteit Leuven.
- Wehr (2012): An Isopycnal Numerical Model for the Simulation of Fluid Mud Dynamics. PhD Thesis, Universität der Bundeswehr München.
- Winterwerp...

