



Prof. Andreas Malcherek (Universität der Bundeswehr München)
Oliver Chmiel (Universität der Bundeswehr München)
Marie Naulin (BAW Hamburg)

MudEstuary – Integration von Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten in laufende Projektarbeit

BAWKolloquium

Hamburg, 15. Juni 2017

Inhalt

1. Einleitung

- Hintergrund und Motivation

2. FuE – Vom Absetzen bis zur Konsolidierung

- Holistisches Modellkonzept

3. KFKI-Projekt MudEstuary

- Laborversuche
- Numerische Simulation des Emsästuars

4. Zusammenfassung und Ausblick

- Integration von FuE in laufende Projektarbeit



Einleitung

Meine folgende Abhandlung zu den Ästuaren werde ich daher in drei Teile einteilen; ihr erster wird von Menschen, der zweite vom Meer und der dritte von Flüssen handeln. In jedem Teil werde ich stets in der gleichen Reihenfolge meine Gedanken über Schäden, ihre Verhütung, entsprechende Wiederherstellungsmaßnahmen und schließlich die möglichen Erfolge vortragen.



Einleitung

Menschliche Einwirkungen kann ich keinesfalls übergehen, und deshalb muss ich unter anderem die Menschen erwähnen, die in Gebirgsregionen das Erdreich aufgraben und den Baumbestand abholzen lassen. Denn bei Regen schlägt das Wasser schwer auf die nicht nur einmal, sondern wieder und wieder umgepflügten Felder auf und strömt nagend über sie hinab, und dabei kann das Wasser ohne Weiteres ziemlich viele Partikel aus dem bereits aufgerissenen und durch die Teilung der Schollen gespaltenen Erdreich herauslösen und forttragen, und zwar umso leichter, als es nicht mehr wie früher von Bäumen und Buschwerk aufgehalten wird. Sobald dieses Wasser durch die Flüsse in die Ästuarie oder ins Meer gelangt und sich dort verlangsamt und beruhigt, senken sich die Erdreichpartikel auf den Grund der Ästuarie ab, oder lagern sich auf dem Meeresgrund an, von wo die Partikel zwangsläufig in die Ästuarie zurückbefördert werden, wenn das Meer von Wind und Wetter aufgewühlt wird.



Einleitung

Was nun Lohnarbeiter betrifft, die man für ihren Arbeitseinsatz bezahlt, so scheint es auf den ersten Blick, dass sie für keinen anderen Zweck sinnvoller einzusetzen sind als für Aushebungsarbeiten.

Denn zöge man zur Durchführung eines Großprojektes eine so große Zahl von Menschen zusammen wie nötig, brächte das auch die Nachteile mit sich, die zwangsläufig mit einer großen Menschenmasse einhergehen. Immer an Feiertagen, bei Regenwetter und bei sehr hohem Wasserstand würde die Arbeitskraft dieser Menschen nutzlos brachliegen, und die Menschen selbst befänden sich in den morastigen Bereichen in einer schlechten Umgebung, in der ihnen ihre Atemluft mit schädlichen Gasen zusetzen würde und sie anderen Strapazen ausgesetzt wären und die zur Umsetzung des Vorhabens erforderliche Arbeitsleistung nicht erbringen könnten.

.



Einleitung

In vielen Fällen ist es nicht zweckmäßig, eine breite Mündung eines in das Meer einströmenden Flusses durch Mauern oder Buhnen zu verengen. Denn mag das Wasser nach dem Eingriff auch schneller werden, so fließt es doch in geringerer Menge ab; dadurch vergrößert der Teil des Wassers, der aufgehalten wird, und welche Gefahren daraus resultieren können, wenn die Deiche dieser größeren Höhe nicht gewachsen sind, liegt von selbst auf der Hand. Aber nun wird jemand einwenden: In einer engeren Mündung wird das Wasser die Partikel des Grundes besser wegspülen und die Mündung dadurch vertiefen können, und deshalb wird das Wasser auch in größerer Menge abfließen, wenn die Tiefe der Mündung sich erst einmal vergrößert hat.

Erstens ist nicht nur der Zuwachs aufgrund der Vertiefung der Mündung zu berücksichtigen, sondern auch die Verringerung durch Verengung der Mündung; so dass erst nach sorgsam durchgeführten Berechnungen (wie es sich für wahrheitsliebende Menschen gehört) klar werden dürfte, ob die Wassermenge wächst oder schwindet.



Einleitung

Übersetzung: Steffi Ullrich

Überarbeitung: A. Malcherek

IOANNIS POLENI
In Gymnasio Patavino Phil. Ord. Prof. ; et Scient. Societatum
Regalium quae Londini et Berolini sunt, Sodalis

D E

MOTV AQVAE
MIXTO
LIBRI DVO.

*Quibus multa nova pertinentia ad Aestuaria, ad
Portus, atque ad Flumina continentur.*

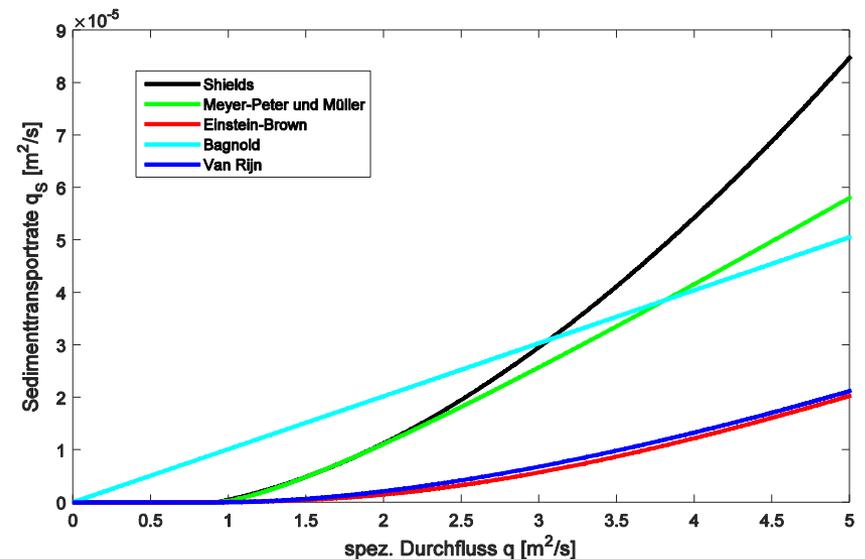
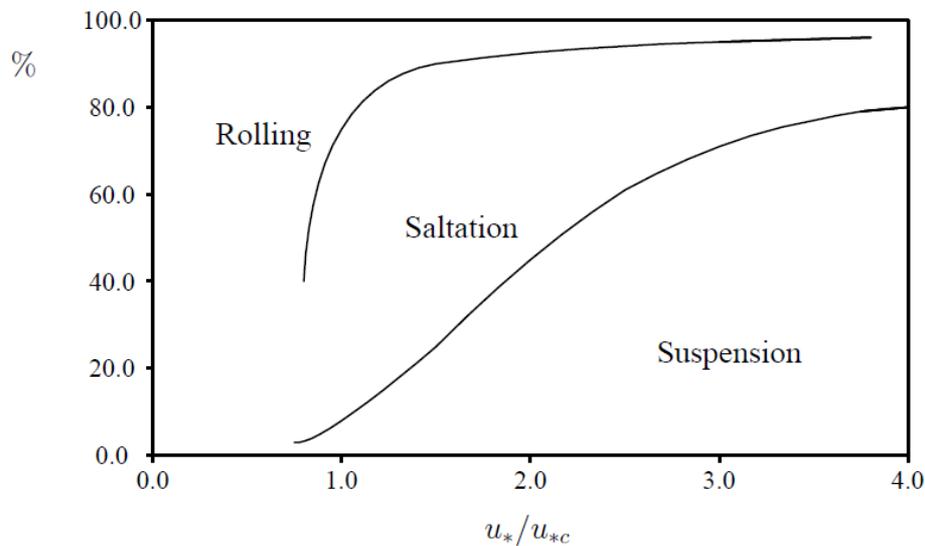


PATAVII. MDCCXVII.
Typis Iosephi Comini.
Superiorum Permissu.



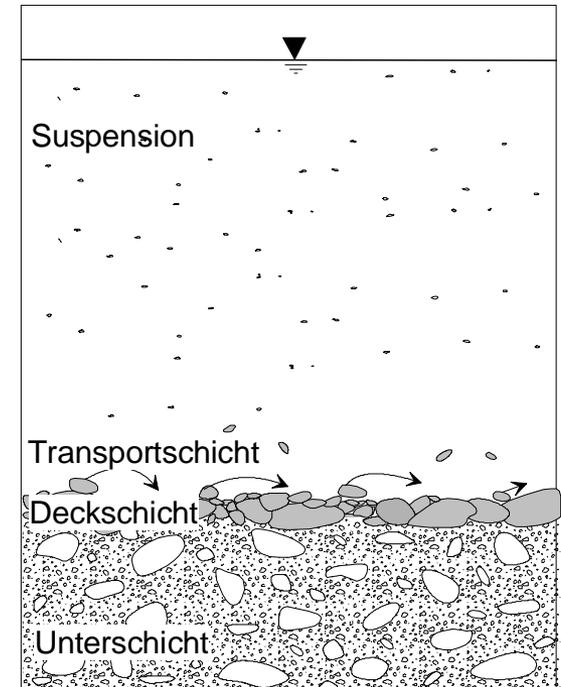
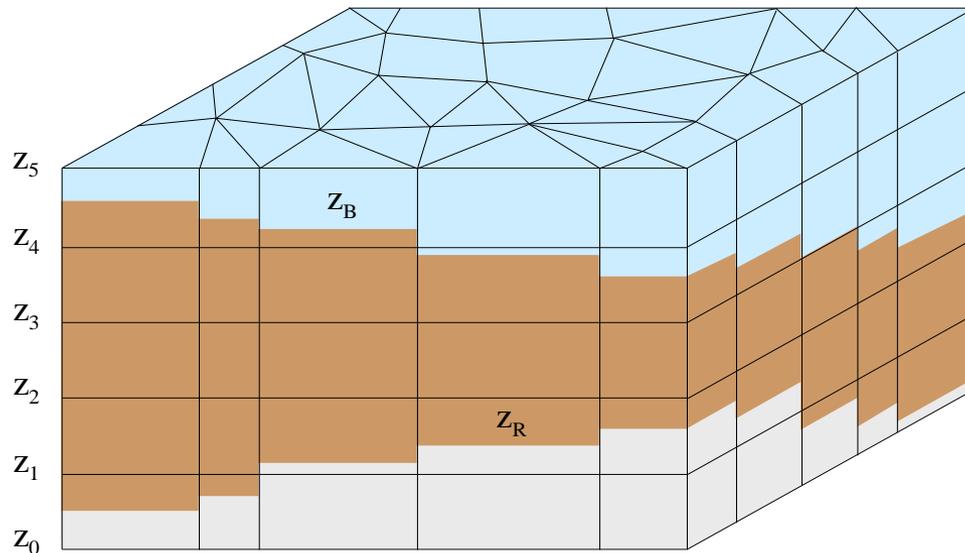
Grundlegende Probleme der Physik des Sedimenttransports

- Unterscheidung zwischen Schwebstoff und Geschiebe
- Unterschiedliche Geschiebetransportformeln
- Einfluss von Porenwassergehalt und Konsolidierung



Grundlegende Probleme der Sedimenttransportmodellierung

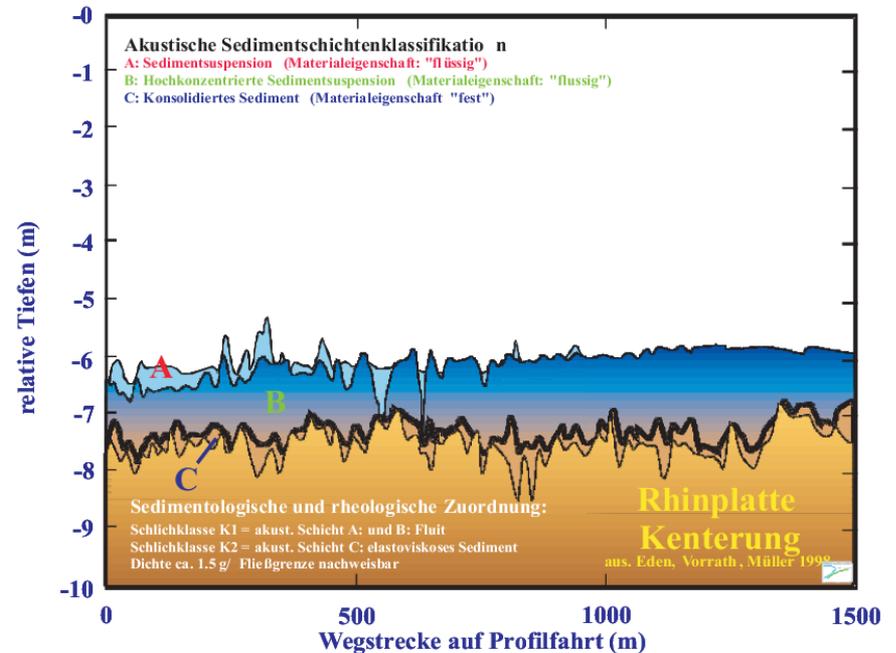
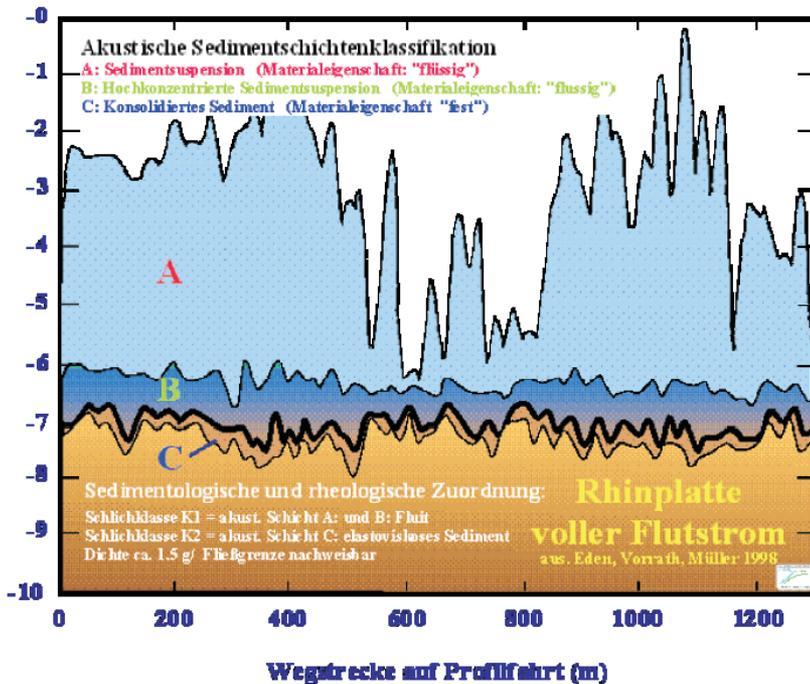
- Wo endet der Boden und wo beginnt das Wasser?



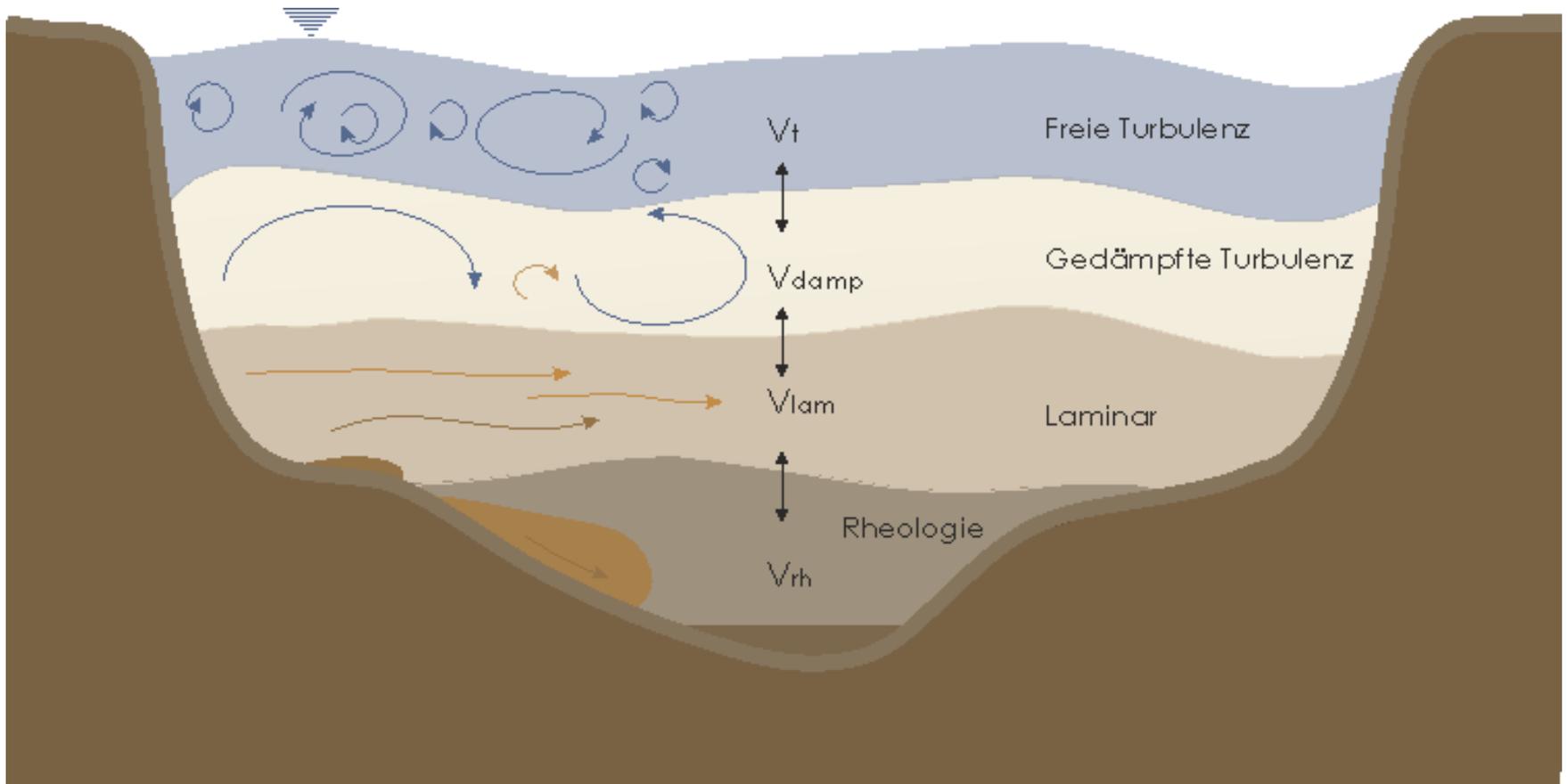
- Wie kann man verbesserte numerische Verfahren in UnTrim und SediMorph berücksichtigen?



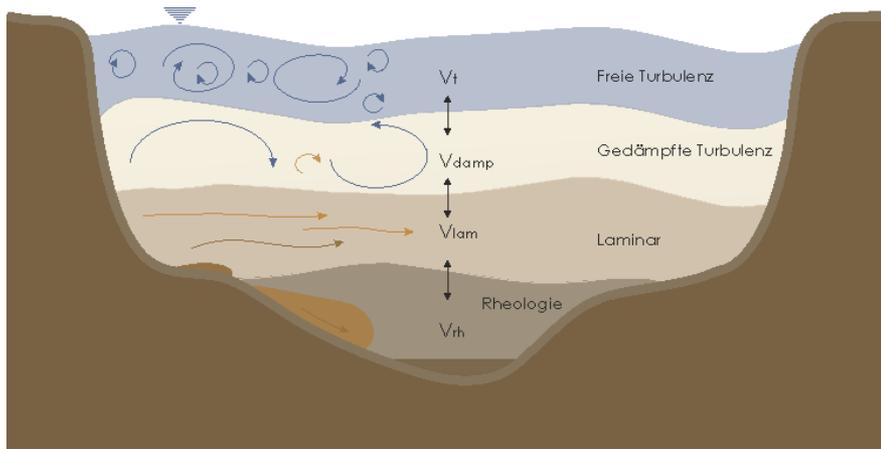
Ist Flüssigschlick der Wasser- oder der Bodensphäre zugehörig?



Holistisches Modell



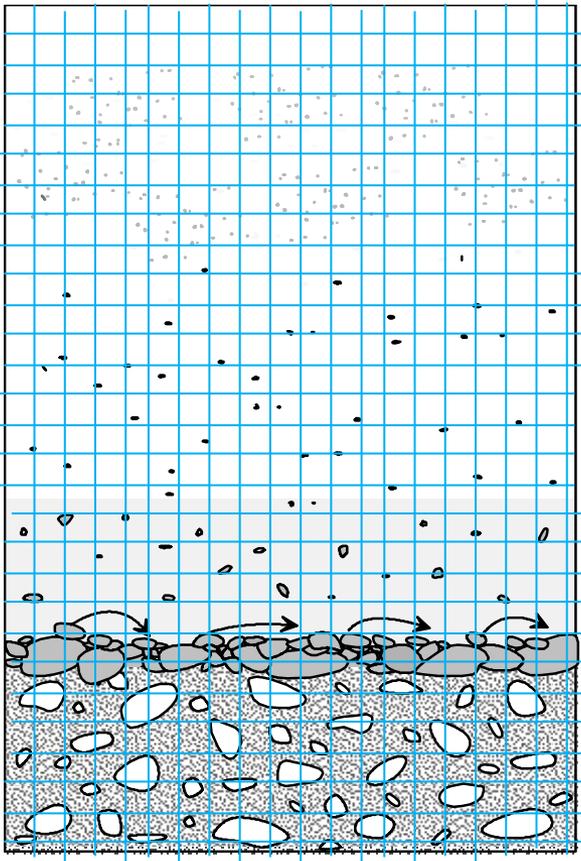
Holistisches Modell



- Massenbilanz
 - Wassermasse
 - Fraktionierte Feststoffmassen
- Impulsbilanz
 - Für fas Gemisch
 - Getrennt für Wasser und Sedimentfraktionen
- Turbulenzmodell



Das holistische Modell als Lösung (1 ½ Phasenmodell)



$$\frac{\partial \rho_b}{\partial t} + \text{div}(\bar{u} \rho_b) = 0$$

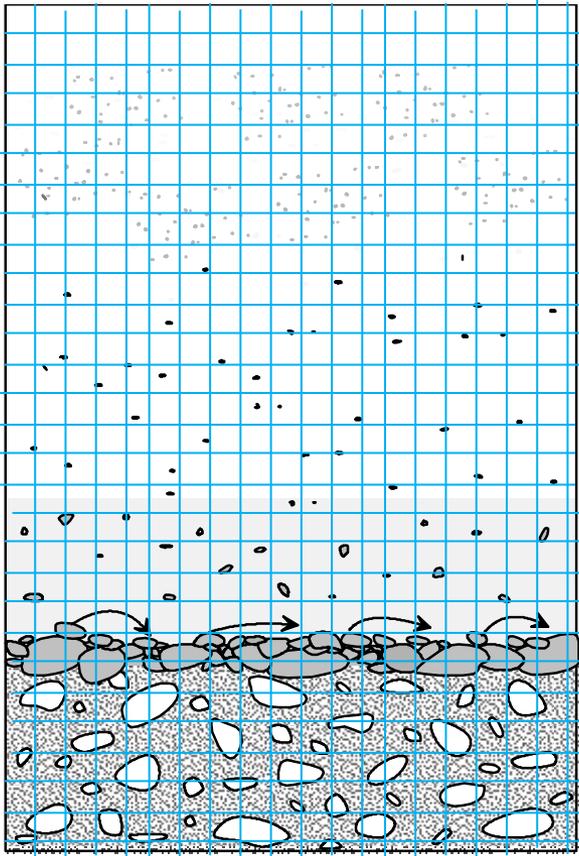
$$\frac{\partial c}{\partial t} + \text{div}(\bar{u}_c c) = \text{div}(K_{\text{eff}} \text{grad} c)$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \text{div}(\bar{u} \otimes \bar{u}) = -\frac{1}{\rho_b} \text{grad} p + \text{div}(v_{\text{eff}} \text{grad} \bar{u}) + \vec{g}$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \text{div}(\bar{u} k) = \text{div}((v_0 + \sigma_* v_t) \text{grad} k) + P_k - \beta * k \omega$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \text{div}(\bar{u} \omega) = \text{div}((v_0 + \sigma v_t) \text{grad} \omega) + \alpha \frac{\omega}{k} P_k - \beta \omega^2$$

Das holistische 1D-Modell (1 ½ Phasen)



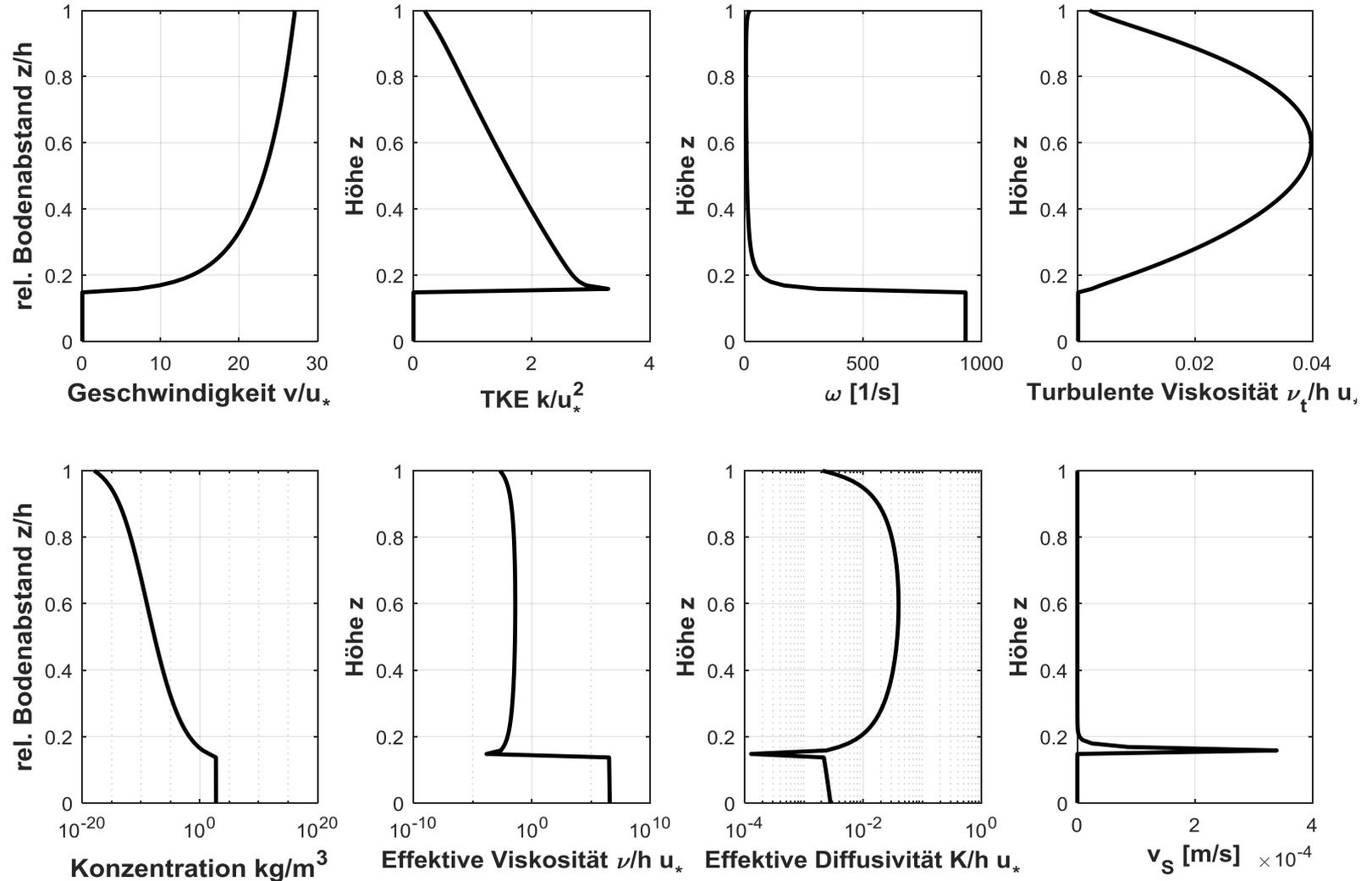
$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial w_c c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\mathbf{K}_{\text{eff}} \frac{\partial c}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(v_{\text{eff}} \frac{\partial u}{\partial z} \right) + gJ$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left((v_0 + \sigma_* v_t) \frac{\partial k}{\partial z} \right) + P_k - \beta * k\omega$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left((v_0 + \sigma v_t) \frac{\partial \omega}{\partial z} \right) + \alpha \frac{\omega}{k} P_k - \beta \omega^2$$

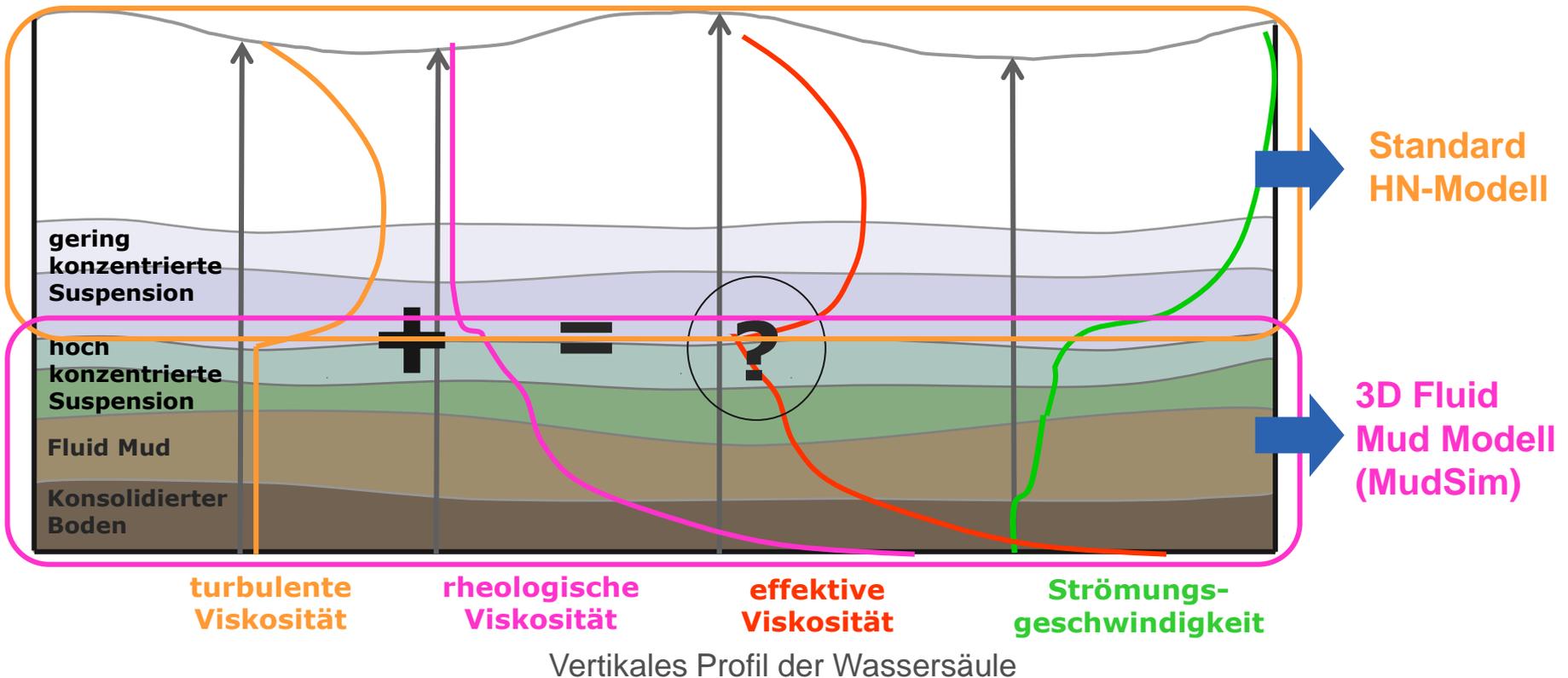
Ergebnisse



MudEstuary – Hauptziele und Konzept: Interaktion von Turbulenz und Flüssigschlick

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

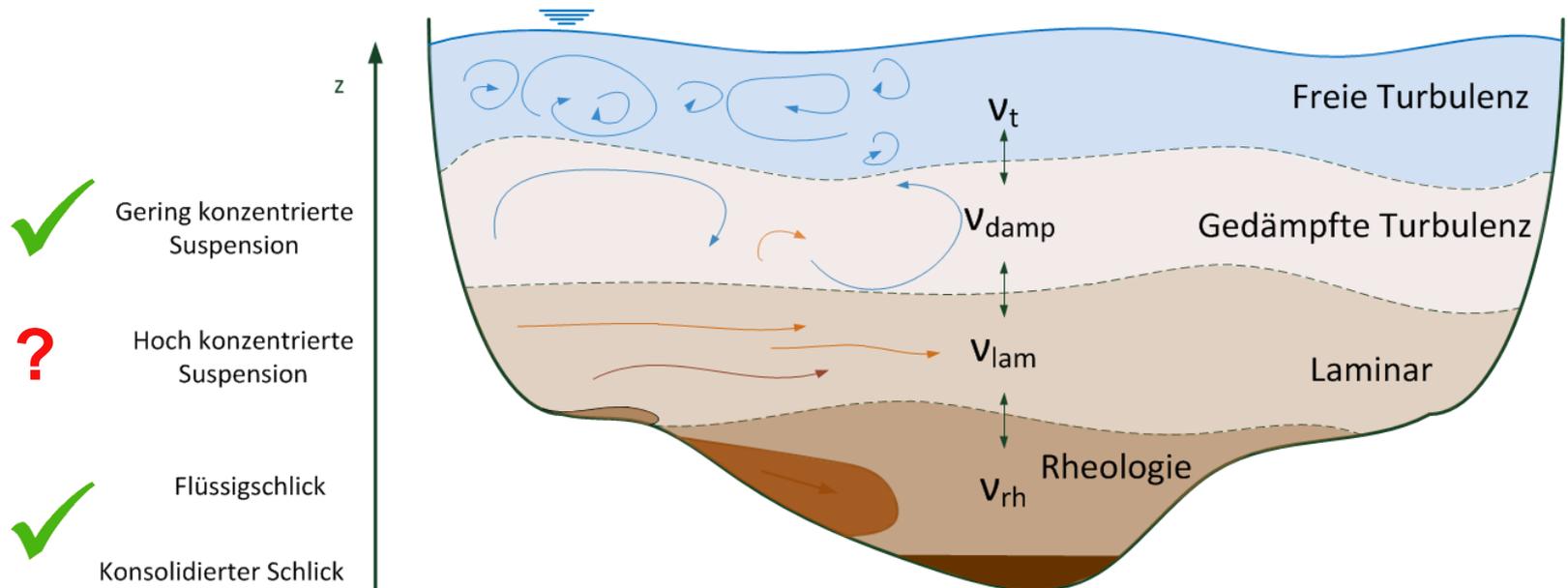
- **Konzept**



Interaktion von Turbulenz und Flüssigschlick

Was wollen wir überhaupt untersuchen?

- „Schalterloser“ Übergang von freier Turbulenz zu rheologischem Fließen
- Interaktion von Turbulenz und Sediment (effektive Viskosität)



Ziele und Überblick KFKI-Projekt "MudEstuary"

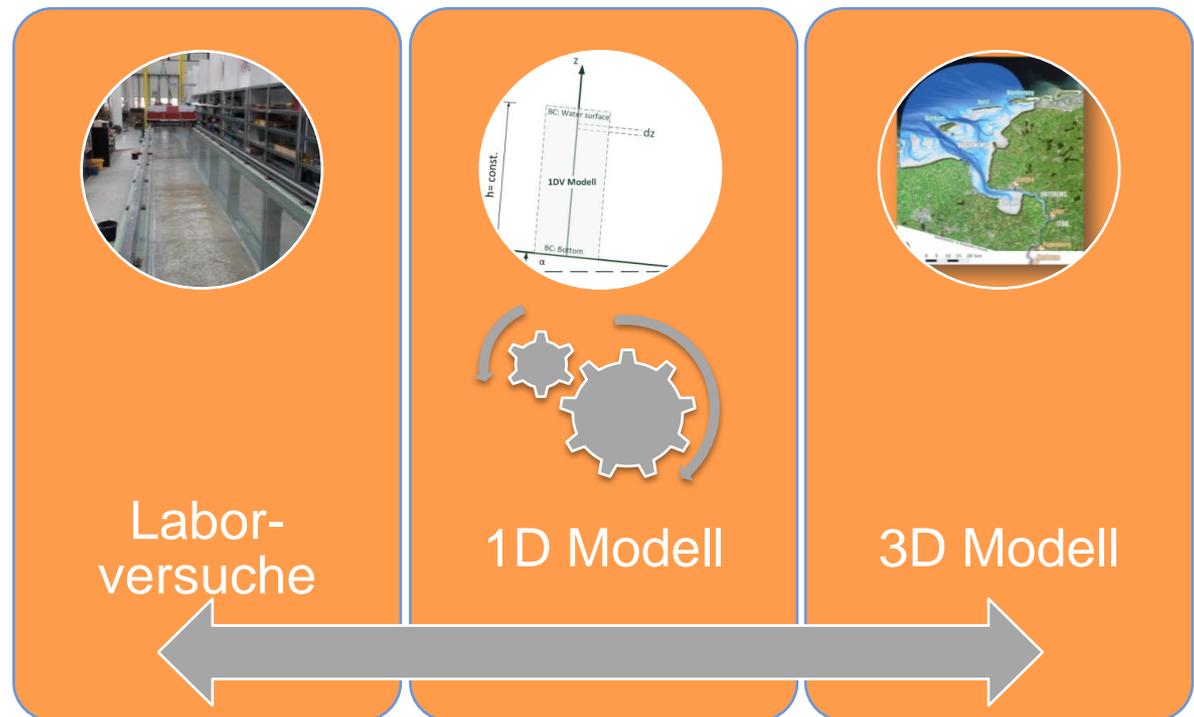
Hauptziel: Entwicklung eines numerischen Moduls zur Simulation der Tidedynamik unter dem Einfluss von Flüssigschlick

Teilprojekt A (UniBwM) „Laborversuche“

Ziele: Untersuchung der Interaktion von Turbulenz und Flüssigschlickrheologie in granularen Strömungen

Teilprojekt B (BAW) „3D Modell“

Ziele: Numerische Integration von Turbulenz und Flüssigschlickrheologie und Anwendung auf das Emsästuar



Laborversuche: Aufbau



MudEstuary_A

Versuchsrinne

Art: Längsrinne
 Länge: 30 m
 Breite: 1 m
 Fließtiefe: 0.2 m
 Durchfluss: 40 - >120 l/s

Material

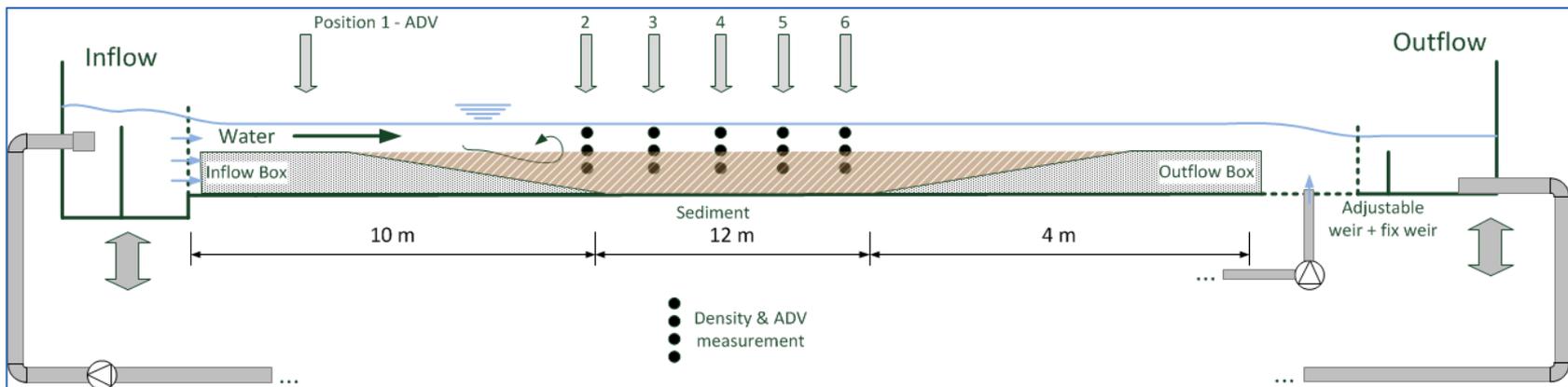
Art: Quarzmehl (kohäsiv)
 Durchmesser: $d_{50} = 0.018 - 0.025 \text{ mm}$
 Rheologie: Ja

Zugabe

Rampe - Quarzmehl liegt vor.

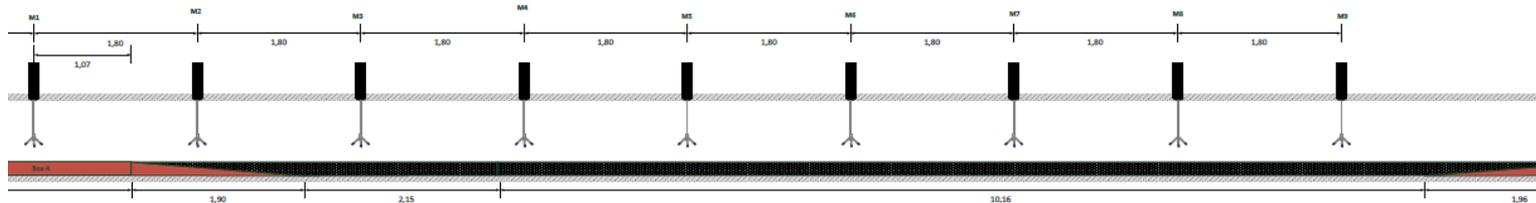
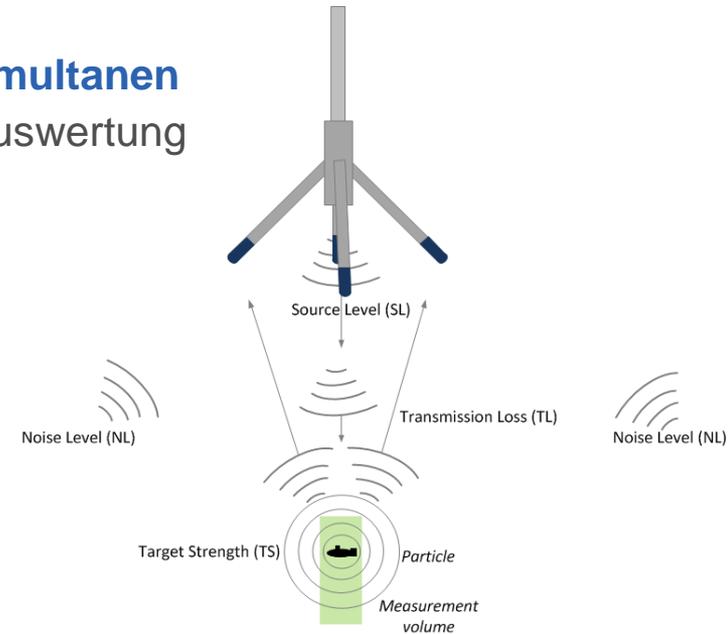
Messgerät

Geschwindigkeit: ADV (akustisch - 100 Hz, 200 Hz)
 Turbulenz: ADV (100 Hz, 200 Hz)
 Konzentration: ADV (100 Hz)
 räuml. Auflösung: 3D
 Messpositionen: 9 horizontal + Profilmessung



Laborversuche: Methode

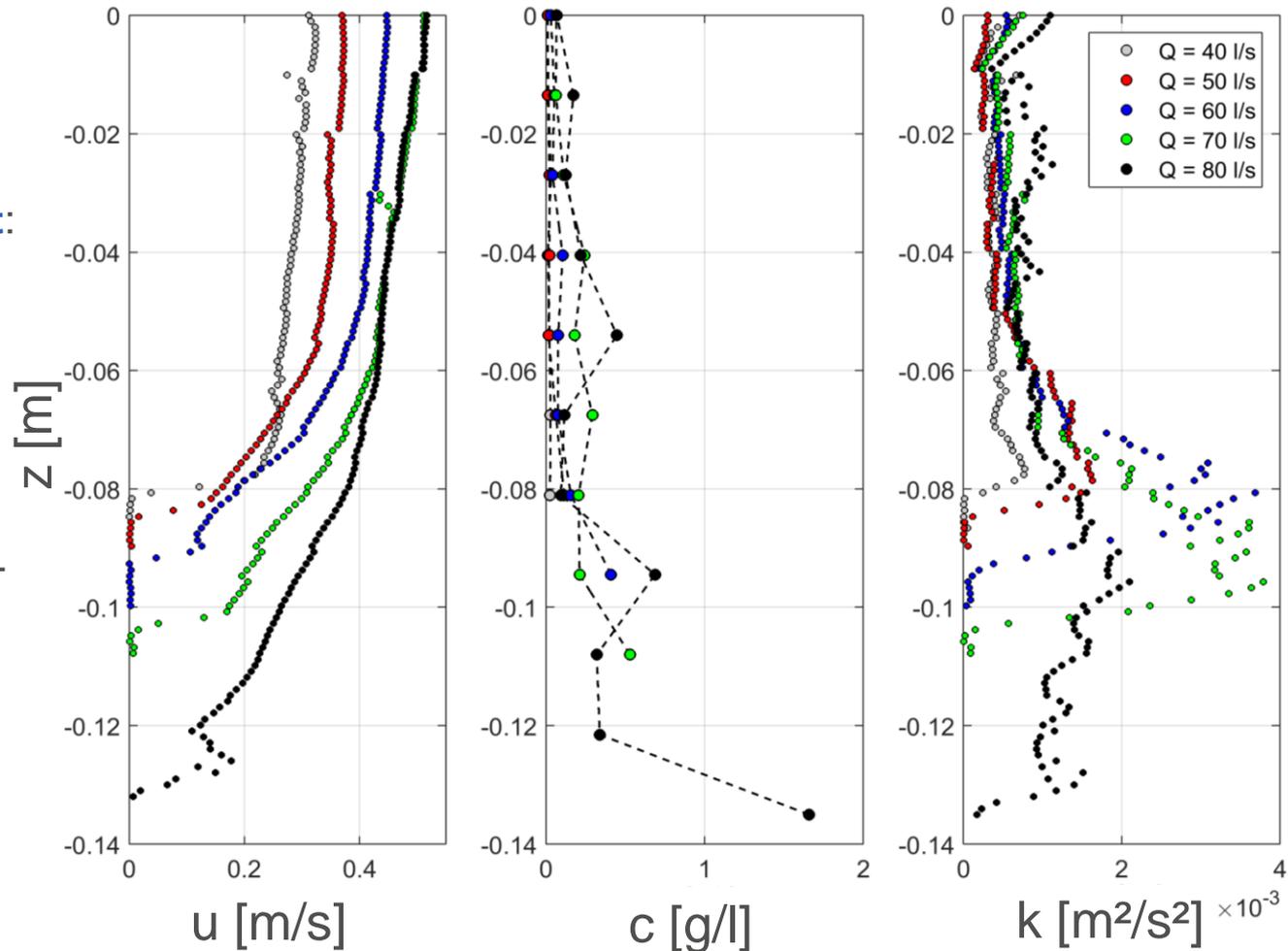
- Entwicklung einer **Methode zur hoch aufgelösten, simultanen Messung von Turbulenz und Konzentration** unter Auswertung der Signal-to-Noise Ratio (SNR)
 - Konzentrationsfluktuationen (100 Hz)
→ turbulente Diffusivität
 - Geschwindigkeitsfluktuationen (100 Hz, 200 Hz)
→ turbulente Viskosität
- Messbetrieb**
 - Messung von Geschwindigkeit, TKE, Konzentration
 - Vertikale Profile (mittig) an 9 horizontalen Messpositionen
 - Messungen je 6 sec (asynchron)
 - Verschiedene Durchflüsse / Fließgeschwindigkeiten



Laborversuche: Zwischenergebnisse

- Grundlegendes Verständnis zur **Interaktion von Turbulenz und Schwebstofftransport:**

- Schichtung,
- Rouse-Profil,
- Absetzverhalten,
- Transportgleichung,
- Turbulente Schmidt-Zahl
- ...



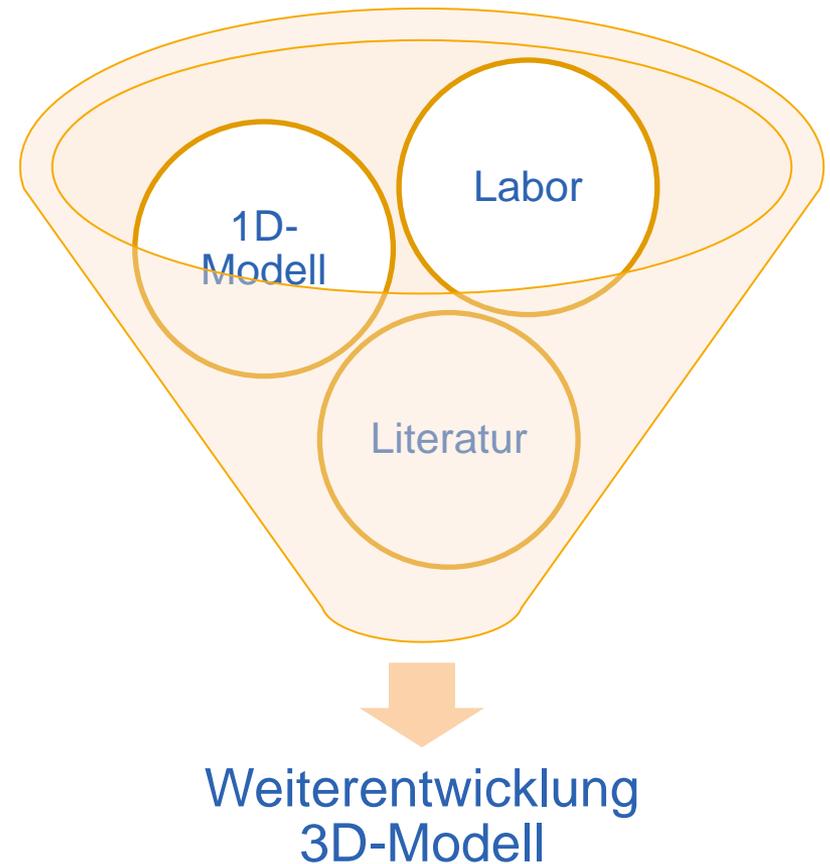
3D-Modell: Weiterentwicklung des Modellverfahrens

▪ Kontinuierlicher Modellansatz

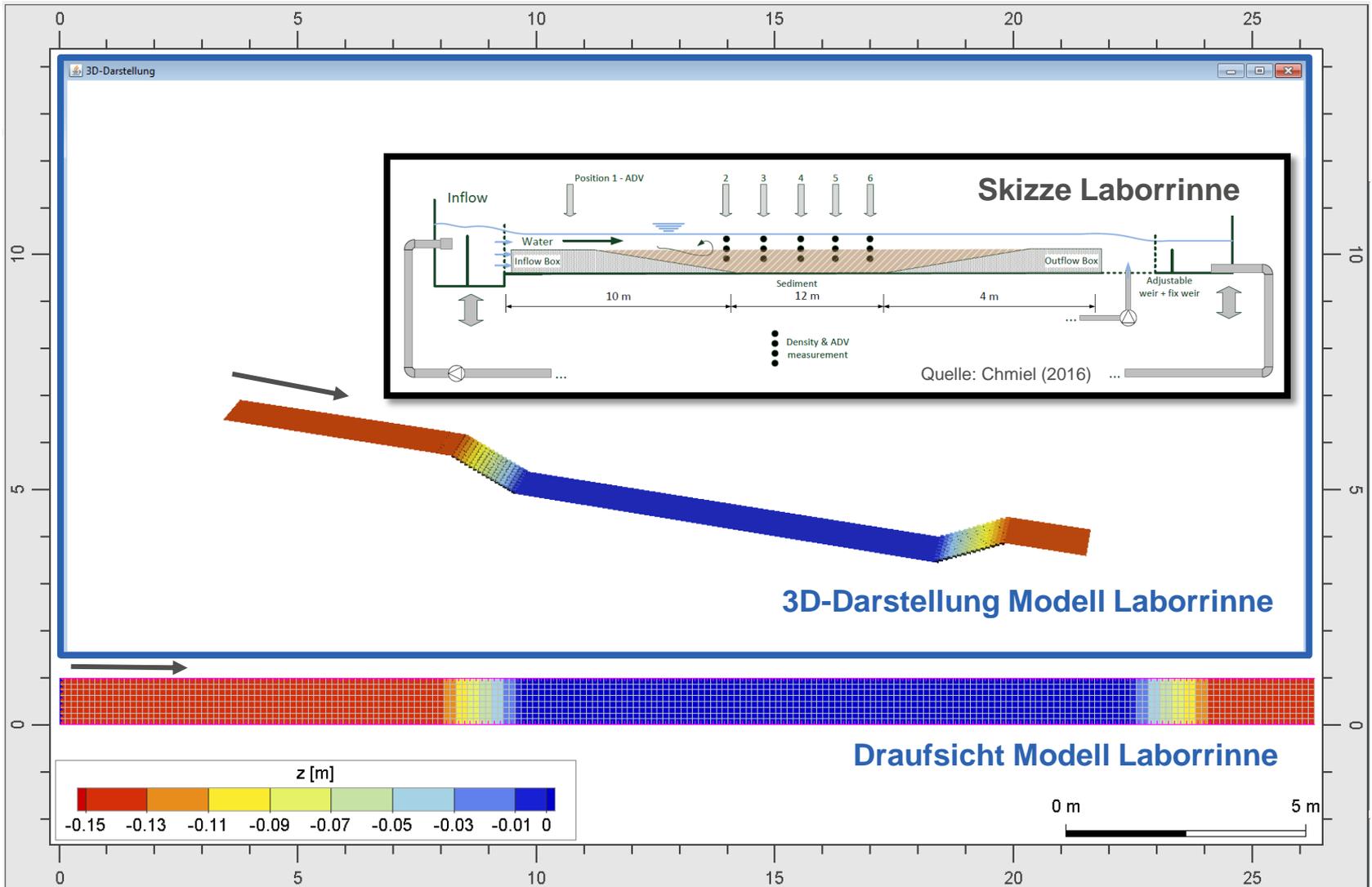
- Effektive Viskosität inkl. rheologischer Viskosität
- Dämpfung/Ausschaltung der Turbulenz
- Hindered Settling, ggf. verbessertes Flokkulationsmodell

▪ Herausforderungen beim Transfer des Konzepts von 1D zu 3D

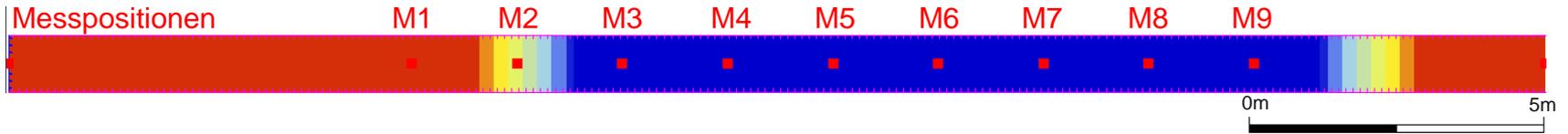
- 1 Beispiel: Vertikale Auflösung von mm (1D-Modell) zu dm (3D-Modell)



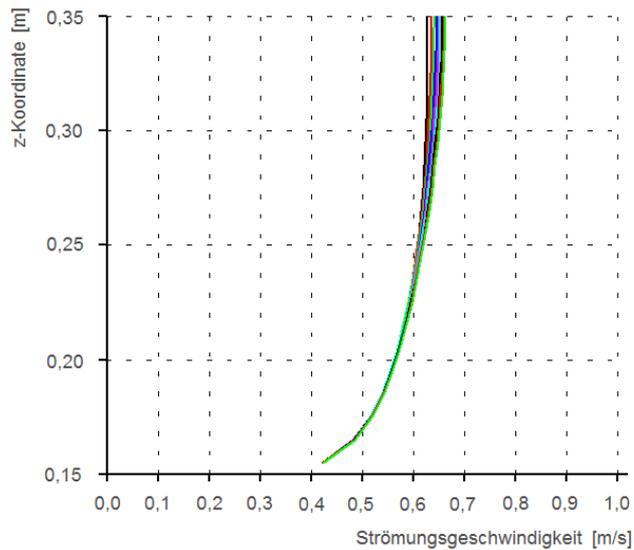
3D-Modell: Anwendung Labormodell



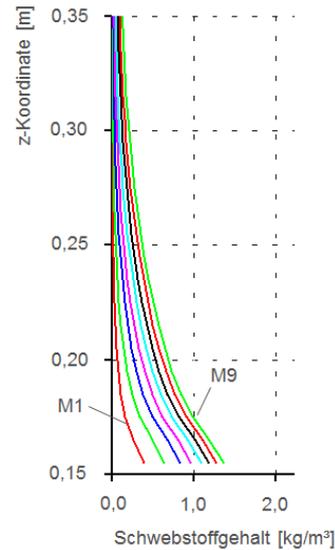
3D-Modell: Zwischenergebnisse Labormodell



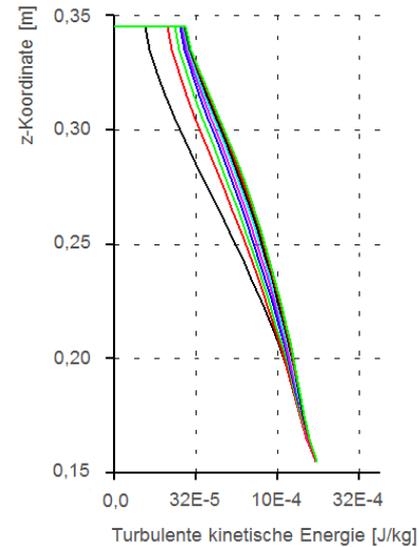
Beispielhafte Ergebnisse für die Messpositionen M1 bis M9 ($Q = 120 \text{ l/s}$)



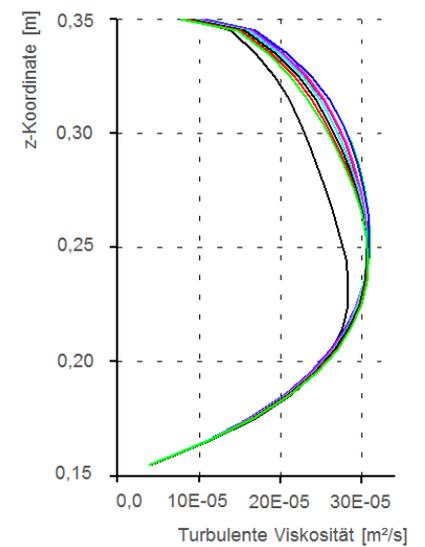
$u \text{ [m/s]}$



$c \text{ [g/l]}$



$k \text{ [m}^2/\text{s}^2]$



$\nu_t \text{ [m}^2/\text{s]}$



Ausblick MudEstuary

▪ Laborversuche

- Weitere Laborversuche: Variantenstudie für unterschiedliche Abflüsse und Variation der Sohlneigung
- Ermittlung weiterer Verifizierungs- und Validierungsgrundlagen: Auswertung hinsichtlich Schichtung, Rouse-Profil, Absetzverhalten, Transportgleichung, Turbulenz etc.

▪ 3D Modell

- Fortsetzung Weiterentwicklung Simulationsmodell
- Anwendung Simulationsmodell:
 - Labormodell
 - Schematisches Ästuar
 - Emsästuar
 - **Historische Zustände Emsästuar** → Ursache der Verschlickung



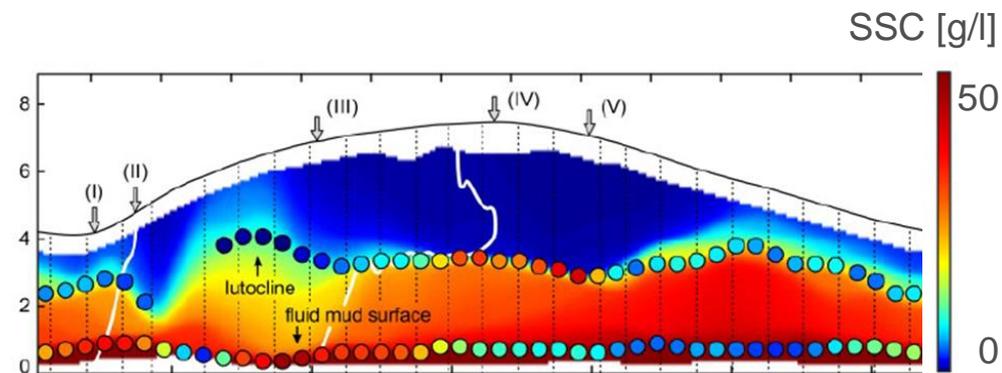
Wie sieht es in der Natur aus?

Weitere FuE-Vorhaben an der Ems im Bereich Naturuntersuchungen

- BAW **Messkampagne Ems 2015**
Fortsetzung der Auswertung, u.a. Salinität (Maushake & Wehr, 2017, in preparation)
- Fortsetzung der langjährigen **Forschungskooperation von marum und BAW zu Feststofftransport in Ästuaren**, aktuell zur Evaluation von Messverfahren bei hoher SPM Konzentration
- BAW Beteiligung bei **Internationaler Messkampagne Ems 2018** (In Planung) in Kooperation mit 14 Institutionen



Messkampagne Ems 2015



Becker & Winter (2016)



Integration von FuE in laufende Projektarbeit

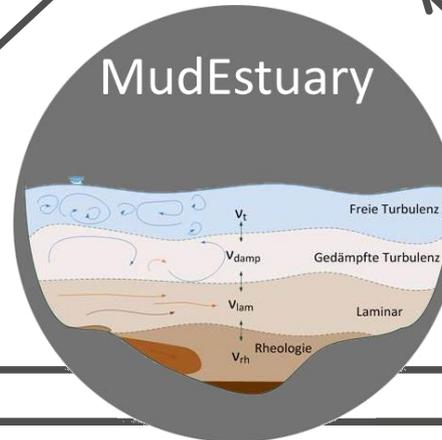
Außenemsvertiefung



Masterplan Ems 2050



Flexibilisierung
Sommerstau



Veränderung des Schwebstoff-Haushalts und der Salzintrusion; Einfluss auf Sedimentmanagement



Zusammenfassung und Ausblick

- **KFKI-Projekt MudEstuary** neue Impulse mit einem kontinuierlichen Modellkonzept zur Simulation von Wasser und Schlick
 - Verifizierung mit Laborversuchen
 - Implementierung in 3D-Modell
- **FuE-Vorhaben und Kooperationen mit Universitäten** und anderen Forschungseinrichtungen sind ein unverzichtbarer Bestandteil der BAW-Arbeit.
 - **Integration von FuE in laufende Projektarbeit**
 - **Neueste wissenschaftliche Erkenntnisse in den Gutachten** der BAW

