

# Die Beeinflussung der Dynamik der Tideästuare durch Flüssigschlick (MudEstuary – 03KIS0112 & 03KIS0113)

Projektkoordinator/Teilprojektleiter A (03KIS0112): Prof. Dr.-Ing. Andreas Malcherek; Projektbearbeitung: Oliver Chmiel

*Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen, Professur für Hydromechanik und Wasserbau, Werner-Heisenberg-Weg 3, 85577 Neubiberg*

Teilprojektleiter B (03KIS0113): Holger Rahlf; Projektbearbeitung: Julia Benndorf, Marie Naulin

*Bundesanstalt für Wasserbau, Wedeler Landstr. 157, 22559 Hamburg*

## ABSTRACT

### 1 MOTIVATION & ZIELSETZUNG

Das Auftreten von Flüssigschlick in Ästuaren und angrenzenden Häfen kann zu hohen Unterhaltungsaufwendungen und einer Veränderung der Tidedynamik führen. In Deutschland ist insbesondere das Emsästuar von hohen Schwebstoffkonzentrationen betroffen, wo Flüssigschlickschichten mit bis zu 50 g/l auftreten, die im Mittel 40 % der Wassersäule umfassen (Becker et al. 2018).

In den klassischen hydrodynamisch-numerischen Modellen ist die Wechselwirkung zwischen Tidedynamik und Flüssigschlick bisher kaum berücksichtigt. Eine Weiterentwicklung der Methoden zur Beschreibung der Flüssigschlickdynamik erfolgte in vorangegangenen KFKI-Projekten: So wurde im Projekt MudSim (Wehr & Malcherek, 2012) ein numerischer Modellansatz entwickelt, der basierend auf einer isopyknischen Darstellung das komplexe nichtnewtonsche Verhalten von Flüssigschlick beschreiben kann (Wehr, 2012). Dafür wurden das scherverdünnende Fließverhalten von Flüssigschlick und die rheometrische Untersuchung der Fließgrenze untersucht (Malcherek und Cha, 2011). Dieses Modell beschreibt die komplexen rheologischen Eigenschaften der Schlicke, jedoch nicht die vertikale Interaktion einzelner Schichten.

Das Ziel des Forschungsprojekts MudEstuary ist nun eine Methode zur Beschreibung der Interaktion von Tide und Flüssigschlick zu entwickeln.

### 2 METHODE

Um die Dynamik in Tideästuaren mit Flüssigschlick beschreiben zu können, wird ein Modellansatz entwickelt und implementiert, der einen kontinuierlichen Übergang von Flüssigschlick zu geringeren Schwebstoffkonzentrationen berücksichtigt. Dabei wird das viskose Verhalten von Wasser durch Turbulenzmodelle und das visko-elastische

Verhalten von Flüssigschlick durch rheologische Modelle simuliert.

Basierend auf einem kontinuierlichen Modellansatz wird zunächst ein linearer Zusammenhang der turbulenten und rheologischen Viskosität angenommen (Le Hir et al., 2001). So kann die effektive Viskosität  $v_{\text{eff}}$  eingeführt werden, die sowohl die turbulente ( $v_t$ ), als auch die rheologische Viskosität ( $v_{rh}$ ) beinhaltet.

Der Modellansatz wurde zunächst in einem numerischen 1DV-Modell weiter entwickelt und anschließend in ein numerisches 3D-Modell implementiert. Für eine Verifizierung des Modellansatzes werden Laborversuche zur Analyse des Übergangsbereichs zwischen Turbulenz und Rheologie durchgeführt.

### 3 ERGEBNISSE

Im wasserbaulichen Labor des Instituts für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München wurden Untersuchungen an der Grenzschicht zwischen turbulenten und rheologischen Fließbedingungen durchgeführt. In einem 30 m langen Laborgewinn wurden dazu Quarzmehlsuspensionen unterschiedlicher Konzentration hergestellt.

Mit moderner ADV-Messtechnik wurden zeit- und ortsgleich vertikale Geschwindigkeits-, Konzentrations- und Turbulenzprofile gemessen (Abbildung 1). Insbesondere die dafür entwickelte akustische Konzentrationsmessung ermöglicht es, den Einfluss der Konzentration auf die Entwicklung der Fließgeschwindigkeit und der Turbulenz, ohne zeitliche oder räumliche Verzerrung zu untersuchen.

Die Messergebnisse lassen die Auswertung der turbulenten Viskosität nur unter der Annahme eines logarithmischen Geschwindigkeitsprofils zu. Tatsächlich zeigen die Messungen abweichende Geschwindigkeitsprofile, sodass vorgeschlagen wird, die turbulente Viskosität über die neu eingeführten Modell-Reynoldsspannungen auszuwerten.

Des Weiteren weisen die Versuchsergebnisse komplexes turbulentes Verhalten nach. Im Verlauf der Versuchsrinne konnte sowohl eine Turbulenz-

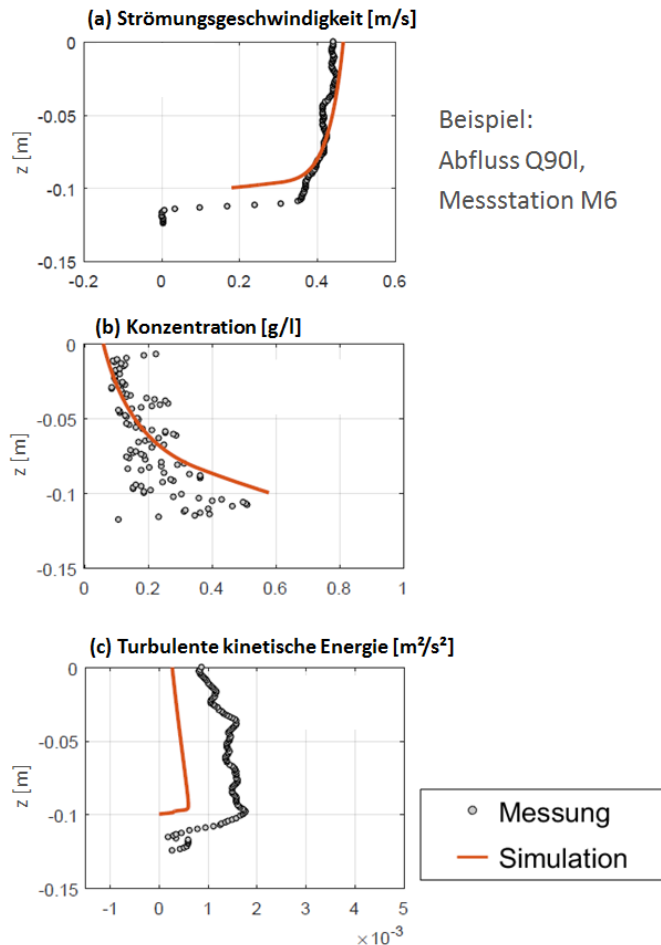
dämpfung, wie auch eine Turbulenzerhöhung nachgewiesen werden. Im Fall der Turbulenzdämpfung ist von einer Verdickung der viskosen Grenzschicht auszugehen, wie es auch an einer Lutokline im Emsästuar der Fall ist. Eine Turbulenzerhöhung ist die Folge instationärer Sohlformen (Riffel und Dünen), die sich während der Versuche in der Rinne gebildet haben.

Die Versuchsergebnisse der Laborversuche, insbesondere die der Turbulenz, helfen dabei den kontinuierlichen Übergang von turbulentem zu lamina rem Fließen in der Übergangsschicht zu Flüssigschlück numerisch nachbilden zu können.

An der Bundesanstalt für Wasserbau wird der entwickelte Modellansatz in ein numerisches 3D Modell implementiert. Hierfür werden folgende Komponenten berücksichtigt:

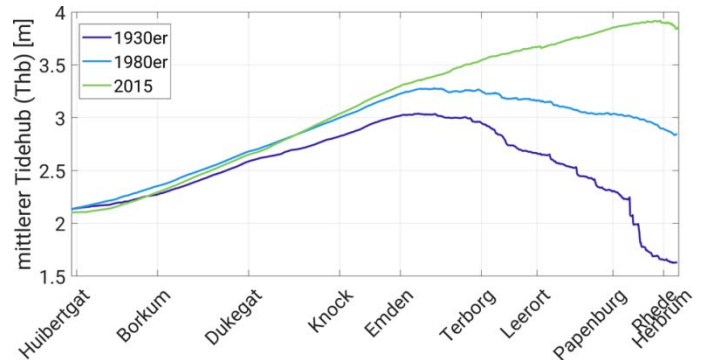
- vertikale rheologische Viskosität
- Hindered Settling
- k-omega-Turbulenzmodell mit angepassten Randbedingungen

Der erweiterte Modellansatz wurde zur Simulation der Laborversuche angewandt. Beispielhafte Ergebnisse für den Vergleich zwischen Labormessung und Simulation zeigt Abbildung 1. Eine detaillierte Analyse des Vergleichs zur Verifizierung des Modellansatzes ist in Bearbeitung.



**Abbildung 1:** Vergleich Labormessungen und Simulation am Beispiel einer Messposition (a) Strömungsgeschwindigkeit, (b) Konzentration, (c) Turbulente kinetische Energie.

Weiterhin wurden für die Simulation des Emsästuars historische Szenarien erstellt, um die Ursachen der Verschlickung zu untersuchen. Hierfür wurden umfangreiche Recherchen und Aufbereitungen von historischen Daten durchgeführt. Abbildung 2 zeigt beispielhaft ein Ergebnis für den Tidehub. Es verdeutlicht, dass sich die Ems von einem hyposynchronen (1930er, 1980er) zu einem hypersynchronen (2015) System entwickelt hat. Anhand der Simulation historischer Szenarien werden der Einfluss von Änderungen der Bathymetrie, Rauigkeit und Meeresspiegelanstieg untersucht.



**Abbildung 2:** Historische Szenarien des Emsästuars: Ergebnisse Simulation Tidehub für „1930er“, „1980er“ und 2015.

## DANKSAGUNG

Das Projektteam dankt dem BMBF für die Förderung (FKZ 03KIS0112 & 03KIS0113) und dem KFKI für die fachliche Begleitung des Projektes MudEstuary.

## LITERATUR

- Becker, M., Maushake, C., & Winter, C. (2018). Observations of mud-induced periodic stratification in a hyperturbid estuary. *Geophysical Research Letters*, 45. <https://doi.org/10.1029/2018GL077966>
- Malcherek, A. & Cha, H. (2011). Zur Rheologie von Flüssigschlücken: Experimentelle Untersuchungen und theoretische Ansätze. Projektbericht, Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen.
- Le Hir, P. et al. (2001). Application of the continuous modelling concept to simulate high-concentrated suspended sediment in a macrotidal estuary. In: McAnally W.H. and A.J. Mehta (Hg.): *Coastal and Estuarine Fine Sediment Processes*, 3: Elsevier Science, 229-247.
- Wehr, D. (2012). *An Isopycnal Numerical Model for the Simulation of Fluid Mud Dynamics*. PhD Thesis. Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen.
- Wehr, D. & Malcherek, A. (2012): Numerical Simulation of Fluid Mud Dynamics – The isopycnal Model MudSim. *Die Küste*, 79, 1-52.