

MudSim (03 KIS 66-67)

Beschreibung der Dynamik (Entstehung, Entwicklung und Transport) von Flüssigschlick auf der Grundlage der physikalischen Prozesse und deren mathematische Implementation zum Sedimentmanagement in Küstengewässern

Andreas Malcherek, Hyunho Cha

Universität der Bundeswehr – München, Institut für Wasserwesen - Hydromechanik und Wasserbau

Harro Heyer, Denise Knoch

Bundesanstalt für Wasserbau – Wasserbau im Küstenbereich - Dienststelle Hamburg

Fortschreitende Ausbaumaßnahmen der Seeschiffahrtsstraßen haben in Tideästuaren zu einer ansteigenden Verschlickungsproblematik in Häfen, Hafenzufahrten und auch teilweise in Fahrrinnenabschnitten geführt. Dies beeinträchtigt einerseits die Lebensräume in den Ästuaren, andererseits ist die Unterhaltung verschlickter Gewässerbereiche sehr kostenintensiv. Mit einem neuen numerischen Modellverfahren soll zukünftig das Verhalten von Flüssigschlick simuliert und analysiert werden, um Maßnahmen zur Unterhaltung von Häfen und Ästuaren zu optimieren. Aus diesem Grund ist es Ziel des Projektes, ein numerisches Verfahren zur Simulation der Dynamik von Flüssigschlick (Entstehung, Deposition, Transport, Fluidisierung, Resuspension, Konsolidierung) zu entwickeln.

Fragestellungen des Suspensionstransports werden mit hydrodynamischen numerischen Modellverfahren untersucht. Die derzeit etablierten und erprobten Modellverfahren sind jedoch kaum in der Lage die Dynamik von Flüssigschlick (auch fluid mud oder hochkonzentrierte Schlicksuspension genannt) zu simulieren. Dies begründet sich in den besonderen rheologischen Eigenschaften von Flüssigschlick. Das Fließverhalten entspricht nicht einem Newtonschen Fluid, wie Klarwasser, jedoch basieren die hydrodynamischen numerischen Modelle in der Regel auf diesem Ansatz.

In diesem Forschungsprojekt ist daher ein bestehendes und bewährtes hydrodynamisches Modellverfahren für die Simulation von Flüssigschlick erweitert worden.

Grundlegend für die Entwicklung neuer Methoden zur numerischen Simulation von Flüssigschlick sind die Erforschung der rheologischen Eigenschaften und die Bestimmung der charakterisierenden Parameter. Zu diesem Zweck sind in der Ems und Weser Flüssigschlickproben entnommen und analysiert worden. Zunächst wird das Material auf einen Korndurchmesser kleiner $63\ \mu\text{m}$ ausgesiebt und mittels eines Laser Particle Sizers die Korngrößenverteilung bestimmt. Einer der wichtigsten charakterisierenden Parameter für das Verhalten von Flüssigschlick ist der Feststoffgehalt, bzw. die sich dazu proportional verhaltende Dichte, daher werden für eine weitergehende rheologische Analyse verschiedene Verdünnungsgrade der Schlicksuspension erstellt. Für diese werden mit einem Rheometer im CSS-Modus (controlled shear stress) Fließkurven und die Viskosität in Abhängigkeit von der Scherspannung gemessen (Abbildung 1).

Zusätzlich wird die Sedimentdichte und der Glühverlust bestimmt. Aus den rheologischen Untersuchungen werden Parametrisierungen für ein rheologisches Modell in Abhängigkeit vom Feststoffgehalt ermittelt. Das verwendete rheologische Modell von Worrall-Tuliani (1964)¹ beinhaltet insbesondere einen Term zur Beschreibung des Zerstörungsgrades von Aggregaten. In das numerische Modell wird das rheologische Modell als Viskositätsformulierung in Abhängigkeit vom Feststoffgehalt überführt.

¹ Worrall, W.E. and Tuliani, S.: Viscosity changes during the ageing of clay-water suspensions. Trans. British Ceramic Society, 63, 167-185, 1964.

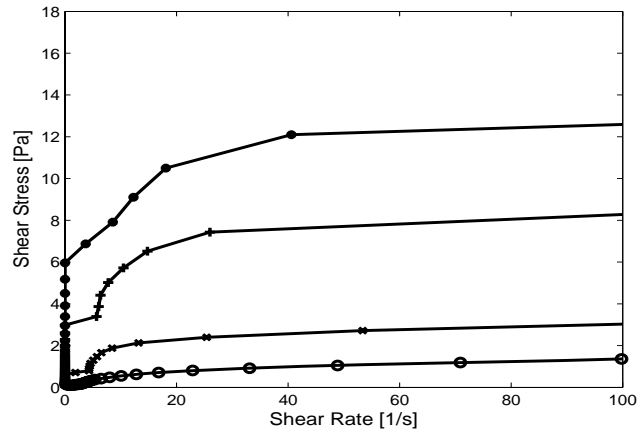


Abbildung 1: Fließkurven einer exemplarischen Schlickprobe für die Verdünnungen 10% (*), 8,5% (+), 7,0% (x) und 5,5% (o) Feststoffgehalt.

Das verwendete numerische Modell basiert auf einem isopyknischen Ansatz². Die vertikale Diskretisierung im numerischen Modell orientiert sich an Schichten gleicher Dichte, den Isopyknen (Abbildung 2). Die Dichteklassen und deren Anzahl werden vordefiniert. Das Fließverhalten der Dichteschichten wird nun durch die rheologische Formulierung für die Viskosität bestimmt. Je nach Dichte bzw. Konzentration einer Suspensionsschicht wird diese als ein Newtonsches oder ein nicht-Newtonsches Fluid, bzw. Worrall-Tuliani-Fluid, behandelt.

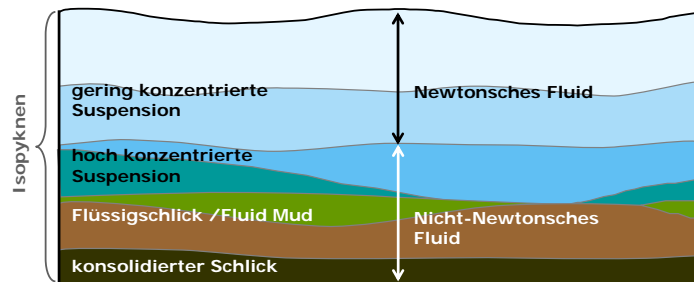


Abbildung 2: Schematische Darstellung des isopyknischen *MudSim*-Modells.

Die Dynamik von Flüssigschlücksschichten wird durch das Entstehen und Verschwinden von Dichteschichten realisiert. In einem Ästuar kann das Flüssigschlückvorkommen stark örtlich und zeitlich variieren (Abbildung 3), welches insbesondere durch das dynamische Verhalten der Dichteschichten wiedergegeben wird. Prozesse wie *hindered settling* und *entrainment* werden durch Massentransport zwischen den Dichteschichten und dem daraus folgenden Anwachsen oder Abnehmen der betroffenen Schichten erreicht. Der horizontale Transport wird durch Strömung, Dichtegradienten und Gravitation angetrieben.

² Casulli, V., 1997. Numerical simulation of three-dimensional free surface flow in isopycnal co-ordinates. *Int. J. Num. Meth. Fluids*, 25, 645-658.

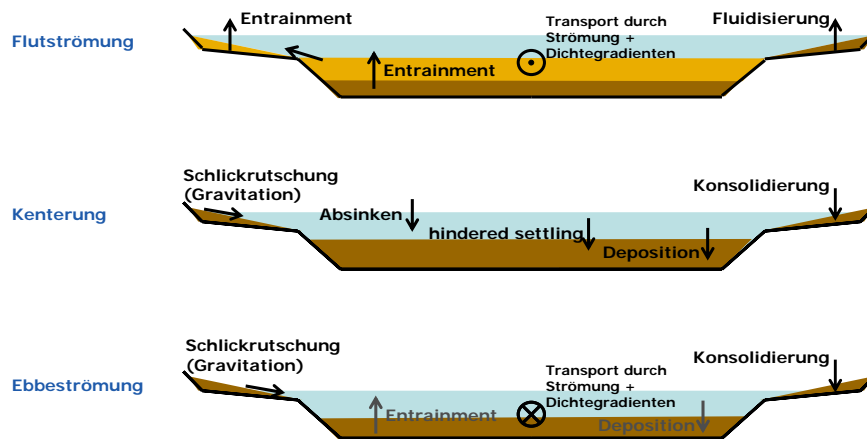


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Schlickdynamik eines Fließquerschnittes in Abhängigkeit von Tidephasen.

Am Ausschnittsmodell des Dortmund-Ems-Kanals, welches vom Pegel Rhede bis Herbrum reicht, zeigt sich die Eigendynamik der Schlicksuspensionen (Abbildung 4). Es ist die Dichteverteilung in einer Flutstromphase dargestellt. Die höhere Strömungsgeschwindigkeit des Wasserkörpers führt zu einer Mobilisierung der deutlich langsamer strömenden Flüssigschlickschichten. Dabei bilden sich auch Phänomene wie interne Wellen aus.

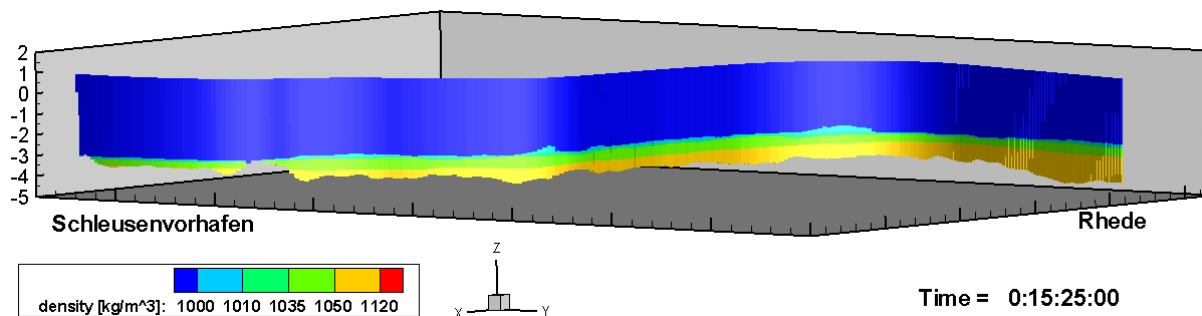


Abbildung 4: Ausschnittsmodell des Dortmund-Ems-Kanals vom Pegel Rhede bis Herbrum – exemplarische Darstellung von Flüssigschlickschichten bei Flutströmung (perspektivische Darstellung).

Das weiterentwickelte numerische Verfahren zur Simulation von hochkonzentrierten Schlicksuspensionen bildet die Grundlage für einen weiteren wichtigen Baustein zur wasserbaulichen Systemanalyse von Flüssigschlickprozessen in Ästuaren und ergänzt damit die bewährten hydromorphologischen Modellverfahren, die bisher nicht in der Lage sind, diese Prozesse zu berücksichtigen.

Mit Hilfe des Verfahrens MudSim sollen zukünftig erforderliche Maßnahmen auch in ihrer Wirkung auf Schlicktransport und Schlickakkumulation untersucht werden können, um Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen auch im Hinblick auf das mögliche Aufkommen von Flüssigschlick bewerten zu können. Zudem sollen hiermit bestehende und zukünftige Maßnahmenstrategien zur Umlagerung und Unterbringung hochkonzentrierter Schlicksuspensionen und konsolidierter Schlicke verbessert werden.

Publikation im Rahmen des Projektes:

Knoch, D.; Malcherek A.: A numerical model for simulation of fluid mud with different rheological behaviors. Ocean Dynamics, vol. 60, DOI: 10.1007/s10236-010-0327-x, 2010.