

## **In situ Messungen und rheologische Analysen von Flüssigschlick**

Dr.-Ing. Andreas Wurpts, Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen

Aufgrund der schnellen Entwicklung der Schiffsgrößen der internationalen Seeschifffahrt und der ständig steigenden Tiefgänge in den letzten Jahrzehnten sind die ausreichenden Wassertiefen im Anfahrtsweg der Seehäfen an der deutschen Nordseeküste ein wesentlicher Standortfaktor geworden, der nur durch fortwährende Vertiefungen und nachfolgende Unterhaltung der Zufahrtswege dauerhaft erhalten werden kann. So fallen von den etwa 45 Mio. m<sup>3</sup> Baggergut, die in Deutschland in den letzten Jahren jährlich durch Nassbaggerungen bewegt werden, etwa 90% im Bereich der Nordseeküste und der zugehörigen Tideflüsse an. Insbesondere im Süß-Salzwasser-Mischbereich, der Brackwasserzone, wird aufgrund der großräumigen hydrodynamischen Situation permanent ein spezielles, teilweise organisches Feinsediment angesammelt. Dieses bildet im Wasserkörper Flocken, welche eine sehr geringe und zudem mit der lokalen Sedimentkonzentration und den lokalen Strömungsbedingungen variierende Sinkgeschwindigkeit aufweisen. Hierdurch setzen sich diese insbesondere in strömungsberuhigten Zonen und zu den Kenterzeiten ab. Die Sedimentkonzentration in Sohlhöhe kann dabei so hoch werden, dass man von Flüssigschlick (fluid mud) spricht, der deutlich andere Fließeigenschaften aufweist, als das darüber befindliche Wasser.

Welcher Anteil der Baggeraufwendungen auf Flüssigschlick entfällt, ist nicht genau bekannt, einen Eindruck vermitteln jedoch die Erfahrungen aus dem Emdener Hafen, wo bis zur Etablierung der heutigen in situ Unterhaltungsstrategie jährlich 4,0 Mio. m<sup>3</sup> vorrangig aus Fluid Mud bestehendes Baggergut den Häfen entnommen wurden.

Um die Unterhaltungskosten an den Tideflüssen zu minimieren, muss die Dynamik von Flüssigschlick berechenbar sein. Die hydrodynamische Situation in den sogenannten teildurchmischten Ästuaren der deutschen Nordseeküste wird geprägt durch die komplexen Interaktionen der gezeiteninduzierten Strömungen mit Dichte- und Schichtungseffekten, die auf räumlich sehr unterschiedlichen Skalen ablaufen. Der dominanteste Einfluss auf die Wasserbewegung ist die gezeiteninduzierte Bewegung des Wasserkörpers, die aus den zyklischen Wasserstandsschwankungen am seeseitigen Rand des Ästuars resultiert. Ein anderer wesentlicher Einfluss ergibt sich aus der Einmischung des Oberwasserzuflusses in das salzige Wasser der offenen See und die resultierenden Schichtungseffekte, welche von lokalen Skalen bis hin zur großräumigen baroklinen Zirkulation reichen.

Für den Sedimenttransport im Ästuar resultiert aus der baroklinen Zirkulation die Existenz einer Trübungszone, welcher Sediment sowohl von See als auch von oberstrom zugeführt wird. Die Position der Trübungszone, in der sich Schichten aus Flüssigschlick bilden können, ist u. a. von der Oberwassermenge abhängig.

Die mechanischen Eigenschaften des Flüssigschlicks hängen stark von der Art der bakteriellen Stoffwechselprozesse darin ab. Die zunächst dominierenden aeroben Stoffwechselprozesse gehen hierbei mit zunehmendem Sauerstoffmangel in anaerobe Prozesse über. Grundsätzlich weist Flüssigschlick viskos-plastisches Materialverhalten auf, d.h. es ist fließfähig entsprechend einer komplexen Rheologie, die sowohl Scherverflüssigung als auch Thixotropie aufweist. Bezüglich der Schiffbarkeit verfügt Fluid Mud zudem über eine Fließgrenze. Die beschriebenen mechanischen Eigenschaften sind langfristig (d.h. im Zeitraum von mehreren Wochen und länger) unbedingt im Zusammenhang mit den biologischen Aspekten zu sehen, da diese im erheblichen Maße durch die Stoffwechselprodukte der enthaltenen Mikroorganismen beeinflusst sind: Die durch die aeroben Stoffwechselprozesse und die reduzierte turbulente Durchmischung im Fluid Mud bewirkte Sauerstoffzehrung führt mit der Zeit zur Umstellung auf anaeroben Stoffwechsel. Dies geht aufgrund der Stoffwechselprodukte mit einer deutlichen Zunahme der mechanischen Festigkeit des Flüssigschlicks einher und begünstigt letztendlich dessen

dauerhafte Konsolidierung. Auch haben die anaeroben Prozesse eine Zunahme u.a. des Methangehaltes im sich verfestigenden Flüssigschlick zur Folge, so dass die effektive Dichte des betrachteten Materials auch in diesem Stadium vergleichsweise niedrig bleibt. Zur Modellierung der vorgenannten Prozesse sind u.a. Parametrisierungen der strukturviskosen Eigenschaften des Flüssigschlicks nötig, da diese in Form eines nichtlinearen viskosen Terms in der Impulsgleichung der Suspension berücksichtigt werden müssen. Die vorgestellte Parametrisierung basierend auf dem Konzept von Gleichgewichtsfließkurven und zusätzlichen Parametern zur Beschreibung der zeitabhängigen strukturellen Festigkeit erlaubt die numerische Reproduktion im Rheometer gemessener zeitlicher Scherversuche. Der Beitrag gibt einen Überblick über die jüngsten Feldmessungen und rheometrischen Analysen im Bereich der Flüssigschlickforschung am Franzius-Institut.

### **Literatur**

- Franz, B.: Rheologischer Vergleich von Flüssigschlicksuspension und synthetischer Tonmineralsuspension, Bachelorarbeit am Franzius-Institut, Hannover, 2009
- Oberrecht, D.: Rheologische Analyse von Flüssigschlicksuspension aus unterschiedlichen Lokationen entlang der Ems, Bachelorarbeit am Franzius-Institut, Hannover, 2009
- Trevethan, M., Wurpts, A., Becker, M.: High frequency measurements about the fluid mud boundary in the estuarine zone of the Ems river, Germany, IAHR conference paper, Vancouver, 2009
- Zorndt, A.: Feldstudie zur zeitlichen und vertikalen Verteilung sedimentologischer und rheologischer Kenngrößen über den Tidezyklus der Ems, Studienarbeit am Franzius-Institut, Hannover, 2009

Bildunterschriften:

otto\_an\_pier\_2.tif: Messboot ‚Otto‘ des Franzius-Instituts / Franzius-Institute’s survey boat ‚Otto‘

ems\_schichtung\_ueber\_tzyklus.tif: Über einen Tidezyklus gemessene Vertikalprofile der Strömungsgeschwindigkeit in der Ems bei Soltborg / velocity distributions measured during tidal cycle at location Soltborg (Ems river)