

## LABORUNTERSUCHUNGEN ZUR VERSANDUNG VON OBJEKTEN AM MEERESBODEN

**P. Menzel und A. Leder**

Universität Rostock, Lehrstuhl Strömungsmechanik  
Albert-Einstein-Straße 2, 18051 Rostock

### Einleitung

In der Ozeanografie, der Fischerei und anderen Disziplinen der Meeresnutzung stellt das Auffinden und Wiederfinden von Objekten, die am Meeresboden lagern, eine besondere Herausforderung dar. Leistungsfähige Fächerecholote erleichtern hierbei die Suche nach der „Nadel im Heuhaufen“. In Abhängigkeit von der Beschaffenheit des Meeresbodens und des Sedimenttransports kommt es jedoch aufgrund von turbulenten, zum Teil oszillierenden bodennahen Strömungen zur Versandung der Objekte. Mit Hilfe von experimentellen und numerischen Untersuchungen soll die Versandung der verschiedenen Objekte untersucht werden.

### Hintergrund und Fragestellung

Die Versandung von Objekten am Meeresboden ist auf eine Reihe von Prozessen zurückzuführen. Im küstennahen Bereich kann sich der Verlauf des Küstenprofils mit der Zeit ändern, so dass ein Objekt am Boden durch einen Sedimentzuwachs verschüttet wird. Ähnlich verhält es sich mit Sanddünen und Rippeln, die auch fern einer Küste über das Objekt wandern und es somit „zuwehen“ können. Im Gegensatz zu diesen Sedimentationsprozessen gibt es auch Vorgänge, bei denen es zur Erosion kommt. Dies geschieht beispielsweise im Flachwasserbereich dort, wo der Einfluss von Oberflächenwellen an Bedeutung gewinnt. Die dabei entstehenden Wirbel tragen Sediment ab, heben es an und transportieren es weg. Global betrachtet entsteht so zwar kein Netto-Abtransport, da immer wieder Material nachtransportiert wird, im Nahbereich um das Objekt jedoch kommt es u.U. zur Auskolkung im Fußbereich und einem damit einhergehenden Einsinken des Objektes. Ein Prozess von besonderem Interesse ist die Auskolkung im Nachlauf eines Objektes infolge gleichmäßiger bzw. oszillierender Anströmung, wie sie auch fern der Küste auftritt. Hier kommt es infolge erhöhter Strömungsgeschwindigkeit zur Mobilisierung des Sediments, welches aus Bereichen hoher Geschwindigkeiten abtransportiert wird. Im weiteren Verlauf können die Objekte in den Auskolkungsbereich gleiten und somit nach und nach im Boden versinken.

Welchen Einfluss die verschiedenen Versandungsprozesse auf die Versandung eines Objektes am Meeresboden unter verschiedenen Voraussetzungen haben, soll mit Hilfe von Laborversuchen und numerischen Simulationen untersucht werden. Im speziellen wird die Auskolkung bei kontinuierlicher und oszillierender Anströmung sowie die Versandung durch Rippel und Dünen untersucht. Als Probekörper dienen ein liegender Zylinder sowie ein Kegelstumpf.

Ziel der Experimente und Simulationen ist es, ein numerisches Vorhersagemodell zu entwickeln, mit dessen Hilfe die Versandung eines Körpers am Meeresboden unter bekannten Umweltbedingungen in Abhängigkeit der Zeit angegeben werden kann. Dieses Modell soll das Auffinden der Objekte erleichtern.

## Charakteristische Kennzahlen und Parameter

Bei der Skalierung des umströmten Körpers von der Natur in das Labormodell gilt es, die entscheidenden dimensionslosen Kennzahlen einzuhalten. Maßgeblich für die Struktur des Nachlaufs eines Körpers und die Ablösung der Scherschichten ist die Reynoldszahl. In vorbereitenden Modellversuchen im Windkanal kann diese eingehalten werden. Soll jedoch der Sedimenttransport mit berücksichtigt werden, so sind die Untersuchungen im Wasserkanal durchzuführen. Der zur Verfügung stehende Versuchskanal ermöglicht es, Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 0,13 m/s bei einer Wassertiefe von 0,3 m zu generieren. Bei einer charakteristischen Länge von 2,9 cm, was dem Zylinderdurchmesser im Versuch entspricht, ergibt dies eine Reynoldszahl von etwa  $Re = 4 \cdot 10^3$ , während in der Natur Reynoldszahlen von etwa  $5 \cdot 10^6$  auftreten.

Von primärer Bedeutung ist es in diesem Fall, die für die Beweglichkeit des Sediments charakteristischen Parameter einzuhalten. Der Parameter zur Beschreibung der Beweglichkeit von Sedimentpartikeln ist nach Shields (1936) und Nielsen (1992) der dimensionslose Shields-Parameter

$$\Theta = \frac{\tau_w}{(\rho_s - \rho)gd} \quad [1]$$

mit der Sohlenschubspannung  $\tau_w$ , der Dichte des Sedimentes  $\rho_s$ , der Dichte des Wassers  $\rho$ , der Gravitationsbeschleunigung  $g$  und dem Durchmesser der Sedimentpartikel  $d$ . Der kritische Shields-Parameter, bei dem die Partikel sich in Bewegung setzen, wird mit der kritischen Sohlenschubspannung  $\tau_{wc}$  beschrieben:

$$\tau_{wc} = \rho gh_c I_s. \quad [2]$$

In Gleichung [2] sind  $h_c$  die kritische Wassertiefe und  $I_s$  die Sohlenneigung. Führt man in Gleichung [1] die Sohlenschubspannung  $\tau_w$  auf eine Geschwindigkeit  $u_\tau$  zurück, so ergibt sich mit der relativen Dichte des Sediments  $s = \rho_s / \rho$  der Shields-Parameter als

$$\Theta = \frac{u_\tau^2}{(s-1)gd} \quad [3]$$

mit der Schubspannungsgeschwindigkeit

$$u_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}. \quad [4]$$

Die Größen in den Gleichungen [1] und [2] lassen sich in ungestörter Strömung experimentell ermitteln. Im Nachlauf eines Körpers jedoch gilt es, die Schubspannungsgeschwindigkeit lokal zu bestimmen. Da für den Sedimenttransport lediglich die beiden horizontalen Komponenten des Schubspannungsvektors von Interesse sind, ist die Messung der turbulenten Geschwindigkeitsschwankungen und deren Korrelationen wie folgt nötig:

$$u_\tau^2 = \sqrt{u'w'^2 + v'w'^2}. \quad [5]$$

Mit der Schwankungskomponente  $u'$  in Hauptströmungsrichtung  $x$ , der Schwankungskomponente  $w'$  in  $z$ -Richtung sowie und der hierzu orthogonalen Schwankungskomponente  $v'$ . Eine Messung dieser Größen ist mittels PIV möglich.

Der so bestimmte Shields-Parameter lässt Aussagen über das Verhalten des Sediments in der Strömung zu. Der kritische Shields-Parameter wurde erstmals von Shields (1936) mit  $\theta=0,03$  angegeben. In Meyer-Peter & Müller (1949) wird ein Wert von  $\theta=0,047$  empfohlen, während nach Günter (1971) sich bei einem Wert von  $\theta=0,06$  bereits 50% der Sedimentpartikel in Bewegung befinden. Dies zeigt, dass der kritische Shields-Parameter stark von den Umgebungsbedingungen sowie dem betreffenden Sediment abhängt, was eine Berücksichtigung der vorhandenen Sedimentzusammensetzung erfordert.

## Experimentelle Methoden

Grundlage für die späteren numerischen Untersuchungen und die Erstellung eines einfachen Vorhersagemodells sind experimentelle Untersuchungen. Hierbei sollen einzelne Versandungsprozesse, die Umströmung der Körper sowie die Kombination aus Körperumströmung und Sedimenttransport untersucht werden. Die Umströmung der Körper und somit die Bestimmung der hierbei auftretenden Strömungsstrukturen am Körper und in dessen Nachlauf sowie die Bestimmung der turbulenten Geschwindigkeitsschwankungen unter Einhaltung der Reynoldszahl, wird im Windkanal mittels eines Stereo-PIV-Systems mit einer Repititionsrate von 1kHz untersucht. Hierbei sollen Aussagen über den lokal zu erwartenden Shields-Parameter im Falle eines Objektes auf fester Unterlage getroffen werden.

Zur Untersuchung des Einflusses von welleninduzierten Rippeln, werden LDA-Messungen zur Bestimmung der Strömungsstruktur innerhalb der Rippel in einem Wellenkanal vorgenommen. Auf diese Weise soll geklärt werden, wie der Sedimenttransport in diesem Bereich stattfindet und welchen Einfluss Oberflächenwellen auf den mittleren Sedimenttransport in den Größenskalen der zu untersuchenden Objekte haben.

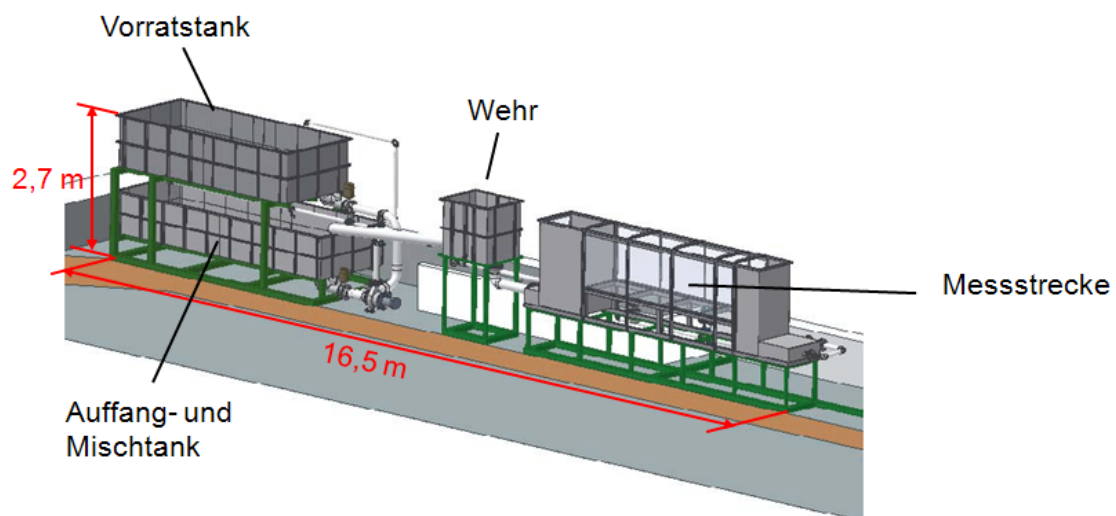


Abb. 1: Wasserkanal zur Erzeugung geschichteter Strömungen

Die Kombination aus Körperumströmung und Sedimenttransport wird im modifizierten Wasserkanal zur Erzeugung geschichteter Strömungen des Ism (siehe Abb. 1) durchgeführt. Die hier zur Verfügung stehende Messstrecke (siehe Abb. 2) erlaubt es, unter Einhaltung eines naturnahen Anström-Geschwindigkeitsprofils, die Probekörper in einem Größenmaßstab von 1:20 zu untersuchen. Eine detaillierte Beschreibung der Versuchsanlage findet sich in Menzel (2010)

Für den Sedimenttransport und die Auskolkung ist der Shields-Parameter von primärer Bedeutung, weshalb es notwendig ist, diesen durch Verwendung geeigneten Sediments (siehe Gleichung 1) einzuhalten. Die bei der Skalierung auftretenden Unterschiede in der zeitgemittelten Nachlaufstruktur der Körper gilt es abzuschätzen und deren Auswirkung auf die Ergebnisse zu diskutieren.

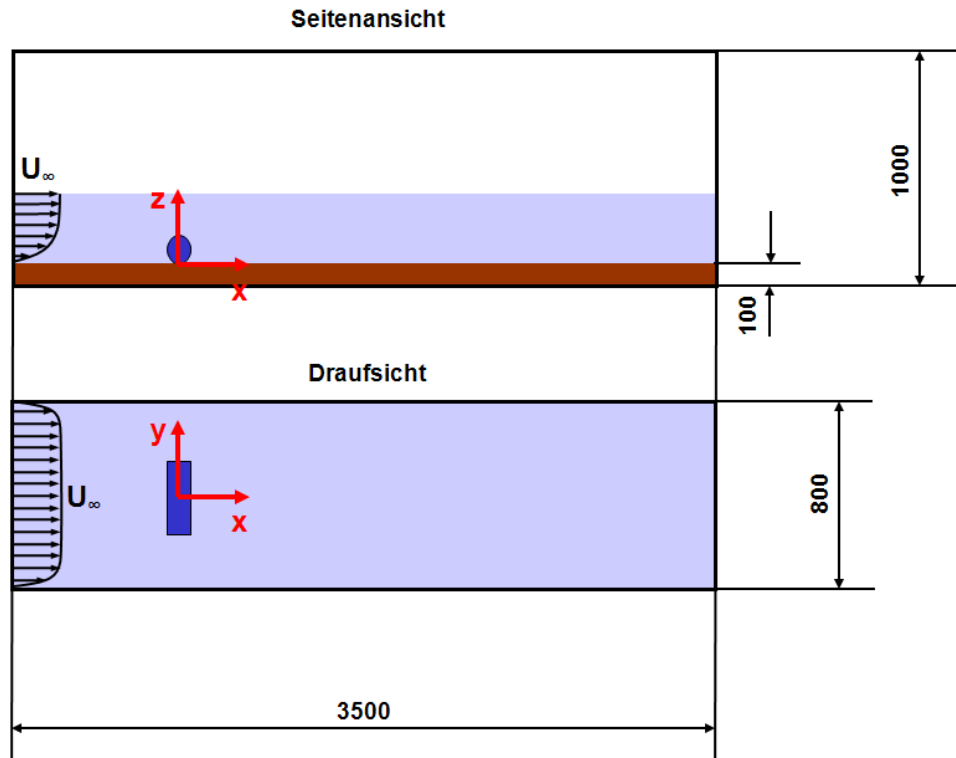


Abb. 2: Messstrecke des Wasserkanals zur Erzeugung geschichteter Strömungen

## Numerische Methoden

Im numerischen Modell werden die experimentell beobachteten Prozesse nachgestellt. Ziel der Simulationen ist es, die Umströmung und Versandung verschiedener Körper im Naturmaßstab abzubilden. So wird es möglich sein, die im Laborversuch ermittelten Ergebnisse auf den Naturmaßstab zu übertragen. Weiterhin wird es so möglich sein, Studien an verschiedenen Körpergeometrien durchzuführen, ohne jeden einzelnen experimentell untersuchen zu müssen.

## Danksagung

Dieses Forschungsvorhaben wird unterstützt durch eine Zuwendung der Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch die Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, Maritime Technologie und Forschung (WTD 71) in Eckernförde.

## Literatur

- Günter, A.; (1971), Die kritische mittlere Sohlenschubspannung bei Geschiebemischungen unter Berücksichtigung der Deckschichtbildung und der turbulenzbedingten Sohlenschubspannungsschwankungen, Dissertation Nr. 4649, ETH Zürich
- Menzel, P.; (2010), Turbulente Mischungsvorgänge im Nachlauf einer dichtegeschichteten Zylinderumströmung, MENZEL-Verlag, Kühlungsborn, ISBN: 978-3-9813444-0-0
- Meyer-Peter, E.; Müller, R.; (1949), Eine Formel zur Berechnung des Geschiebetriebs, Schweizerische Bauzeitung, Jhg. 67, Heft 3, 29-32
- Nielson, P.; (1992), Coastal Bottom Boundary Layers and Sediment Transport; Singapore: World Scientific
- Shields, A.; (1936), Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung; Mitteilung der Preußischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Heft 26, Berlin