

# Einfluss hydrodynamischer Randbedingungen auf die Mobilität von Transportkörpern in der Tideelbe bei Hamburg

## Einleitung und Motivation

Der Sedimenttransport in Ästuaren wie der Tideelbe ist aufgrund der Implikationen für das Flussmanagement ein wichtiges Forschungsgebiet.

Im Fokus dieser Arbeit steht der Sandtransport in der Tideelbe, welcher neben dem Geschiebetransport auf ebener Sohle in sog. Transportkörpern statt findet. Dabei handelt es sich um regelmäßige Folgen asymmetrischer Sanddünen, die am besten als megaripples type 1 (Dalrymple et al., 1987) charakterisiert werden können. Sie bilden sich unter bestimmten hydrodynamischen Randbedingungen durch komplexe Sandtransportmechanismen. Angeregt durch die Gezeiten und den Oberwasserabfluss kommt es zu einer Dünenwanderung und zu einem Transport des in den Dünen mitgeführten Sandvolumens.

Ziel der Arbeit ist die Beschreibung der Dünen sowie die Ermittlung von Wandergeschwindigkeiten und assoziierten Transportvolumina. Weiterhin wird der Einfluss hydrodynamischer Randbedingungen auf die Mobilität der Transportkörper untersucht.

## Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

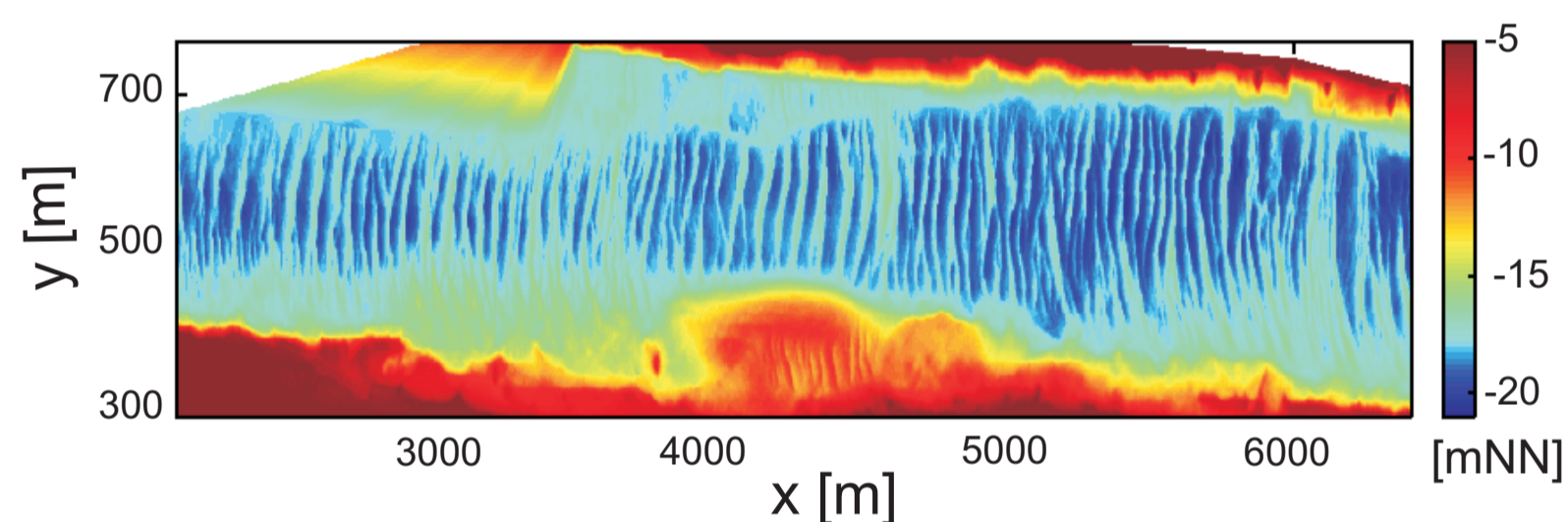


Abb. 1: Peilung des Untersuchungsgebietes im August 2008

Das Untersuchungsgebiet der Studie liegt westlich von Hamburg an den Stromkilometern 636 bis 639. Die Auswertung konzentriert sich auf das Gebiet der Fahrrinne, in welchem eine besonders ausgeprägte Transportkörperbildung zu beobachten ist.

Als Datengrundlage standen bis zu sechs jährliche Peilungen von 1995 bis 2009 zur Verfügung, welche von der Hamburg Port Authority mit einem Multibeam Echolotsystem aufgemessen wurden (s. Abb. 1).

Zur Untersuchung der anstehenden Sedimente wurden Proben aus dem Untersuchungsgebiet entnommen. Es handelt sich um eng gestufte Mittelsande (s. Abb. 2), eine Bedingung für die Bildung von Sanddünen (Zanke, 1982).

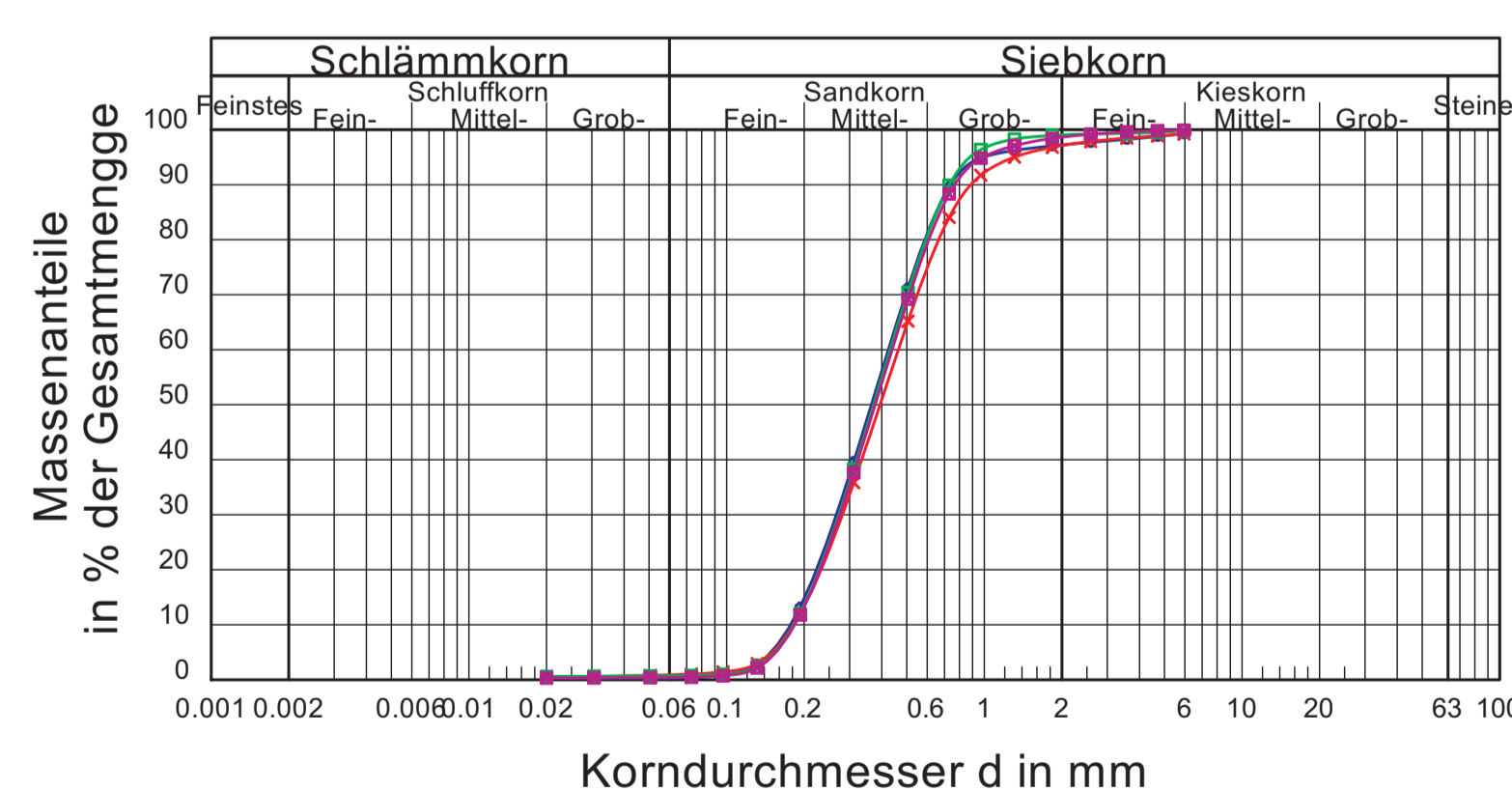


Abb. 2: Sieblinien im Untersuchungsgebiet entnommener Proben

Weiterhin standen u. a. Tageswerte des Oberwasserabflusses vom Pegel NeuDarchau sowie Ganglinien benachbarter Pegel zur Verfügung. Während des Untersuchungszeitraums lag der Oberwasserabfluss im Mittel bei  $Q = 701 \text{ m}^3/\text{s}$  und der örtliche mittlere Tidenhub bei  $M_{th} = 3,40 \text{ m}$ .

## Methodik

Für die Beschreibung der **Transportkörperform** wurde ein Dune-Tracking Algorithmus implementiert, der automatisch Berge und Täler eines Längsschnittes identifiziert (vgl. van der Mark und Blom, 2007).

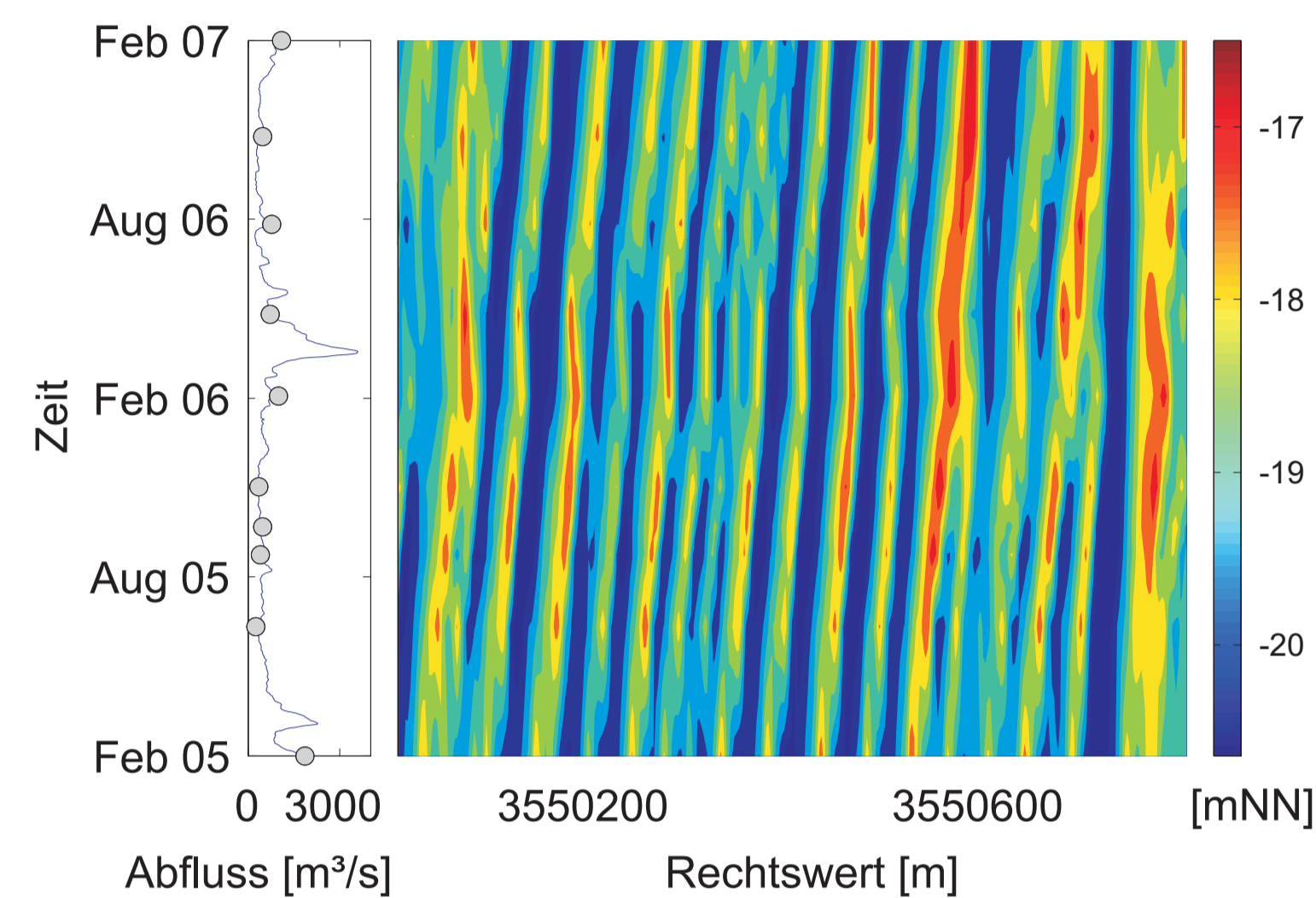


Abb. 3: Morphologische Tendenz eines Längsschnittes (graue Punkte indizieren die Zeitpunkte der interpolierten Peilungen)

Um **Wandergeschwindigkeiten** großer Datensätze berechnen zu können, erfolgte die Implementierung zweier automatisierter Methoden. Der Ansatz der lokalen Formänderungsgeschwindigkeit ist begründet auf einer mathematischen Approximation der Geschwindigkeiten über zeitliche und räumliche lokale Gradienten. Die Kreuzkorrelationsmethode berechnet die statistisch beste Übereinstimmung zwischen jedem Punkt der ersten Peilung mit der darauf folgenden (Duffy and Hughes-Clark, 2005). Beide Methoden wurden anhand eines Vergleichs mit einem manuellen Dune-Tracking validiert und sind gut auf große Datensätze anwendbar. Die Kreuzkorrelationsmethode jedoch nähert die Ergebnisse des manuellen Dune-Trackings genauer an und hat darüber hinaus den Vorteil, die Genauigkeit der Berechnung mittels Korrelationskoeffizienten anzugeben.

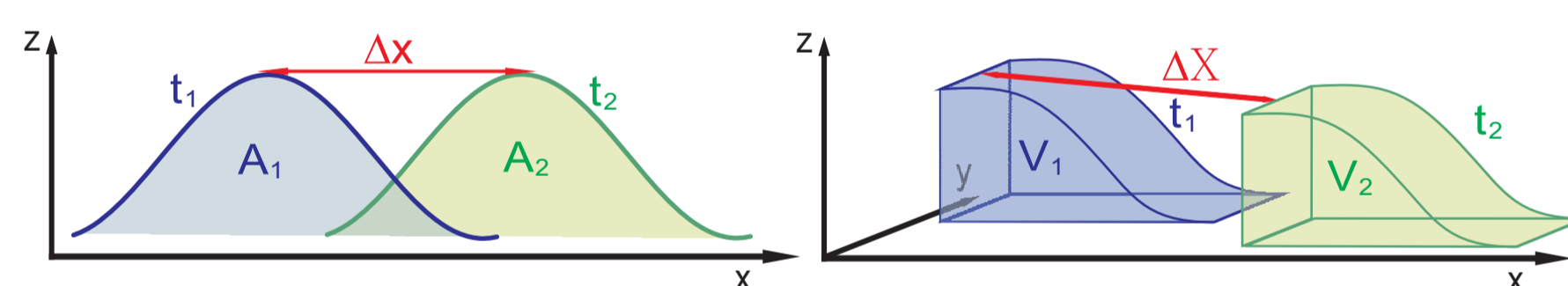


Abb. 4: Transportratenberechnung in 1 vs. 2 Richtungen

Eine qualitative Methode zum Abschätzen der Geschwindigkeiten ist die Visualisierung der morphologischen Tendenzen wie in Abbildung 2, in der Längsschnitte durch die Fahrrinne über die Zeit dargestellt und farblich interpoliert sind.

Zur Berechnung der assoziierten **Transportraten**  $q_b$  dient in vielen Dune-Tracking Studien wie Gaeumann und Jacobson (2007) die Formel

$$q_b = (1 - \epsilon) \cdot \frac{A}{\lambda} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1)$$

mit der Porosität  $\epsilon$ , der Fläche im Dünenquerschnitt  $A$ , der Länge  $\lambda$ , der Wanderdistanz  $\Delta x$  und dem Messabstand  $\Delta t$ . Dieser Ansatz wurde wie Abbildung 4 zeigt, zur Berechnung von 2D-Transportraten eines Volumens  $V$  (definiert über einem horizontalen Basislevel  $B$ ) erweitert zu

$$\bar{q}_b = (1 - \epsilon) \cdot \frac{V}{B} \cdot \frac{\Delta \bar{x}}{\Delta t} \quad (2)$$

Durch Anwendung dieses Ansatzes auf die Ergebnisse der Kreuzkorrelationsmethode wurde eine gute Übereinstimmung mit Ergebnissen des manuellen Dune-Trackings erreicht.

## Ergebnisse

Die Anwendung des automatisierten Dune-Trackings auf die insgesamt 58 Peilungen ergab, dass die Transportkörper im Untersuchungsgebiet in den Jahren von 1995 bis 2008 im Mittel  $h = 1,70 \text{ m}$  hoch und  $L = 46,47 \text{ m}$  lang waren. Abbildung 4 zeigt beispielhaft die Ergebnisse.

Die Dünen wiesen eine klare Stromauforientierung auf. Bei 72,7 % der untersuchten Dünen aller Peilungen war der Richtung Nordsee gelegene Hang länger als der Richtung Hamburg gelegene. Dies ist ein Indikator für die Bewegungsrichtung, da Transportkörper i. d. R. in Richtung ihres steileren Hanges wandern (Knaapen, 2005).

Dies bestätigen die Ergebnisse der Wandergeschwindigkeitsberechnungen. Es ergaben sich über den Untersuchungszeitraum gemittelte Geschwindigkeiten in Richtung Hamburg von  $u = 0,07 \text{ m/d}$ . Die mittleren Transportraten betragen  $q_b = 0,05 \text{ m}^3/(\text{dm})$  pro Tag und Breitenmeter. Damit wurden über die gesamte Fahrrinnenbreite des untersuchten Gebietes jährliche Sandmengen von  $q_b \approx 5000 \text{ m}^3/\text{a}$  in Richtung Hamburg transportiert (nicht berücksichtigt ist der Transport auf ebener Sohle und in Suspension).

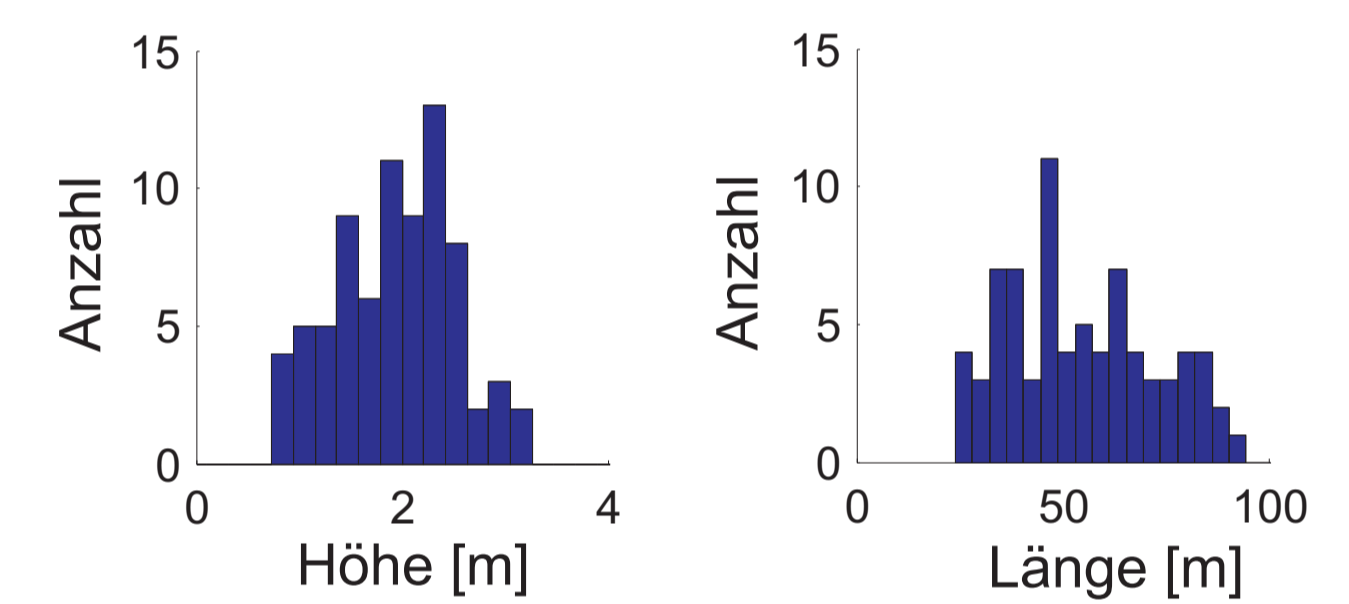


Abb. 4: Beispielhafte Dünencharakteristiken für August 2008

## Schlussfolgerungen

Die Wanderung in Richtung Hamburg ist bedingt durch Wechselwirkungen verschiedener hydrodynamischer Randbedingungen. Während der Oberwasserabfluss Sedimentbewegungen in Richtung Nordsee anregt, kann die Flut bedingt durch die Tideasymmetrie höhere Sohlschubspannungen hervorrufen als die Ebbströmung und somit mehr sandige Sedimente in Bewegung setzen. Zwischen der Oberwassermenge und der resultierenden Transportkörpergeschwindigkeit besteht ein Zusammenhang, wie Abbildung 5 zeigt. Während die Dünen bei mittleren Oberwassersituationen mit  $u \approx 10 \text{ cm/d}$

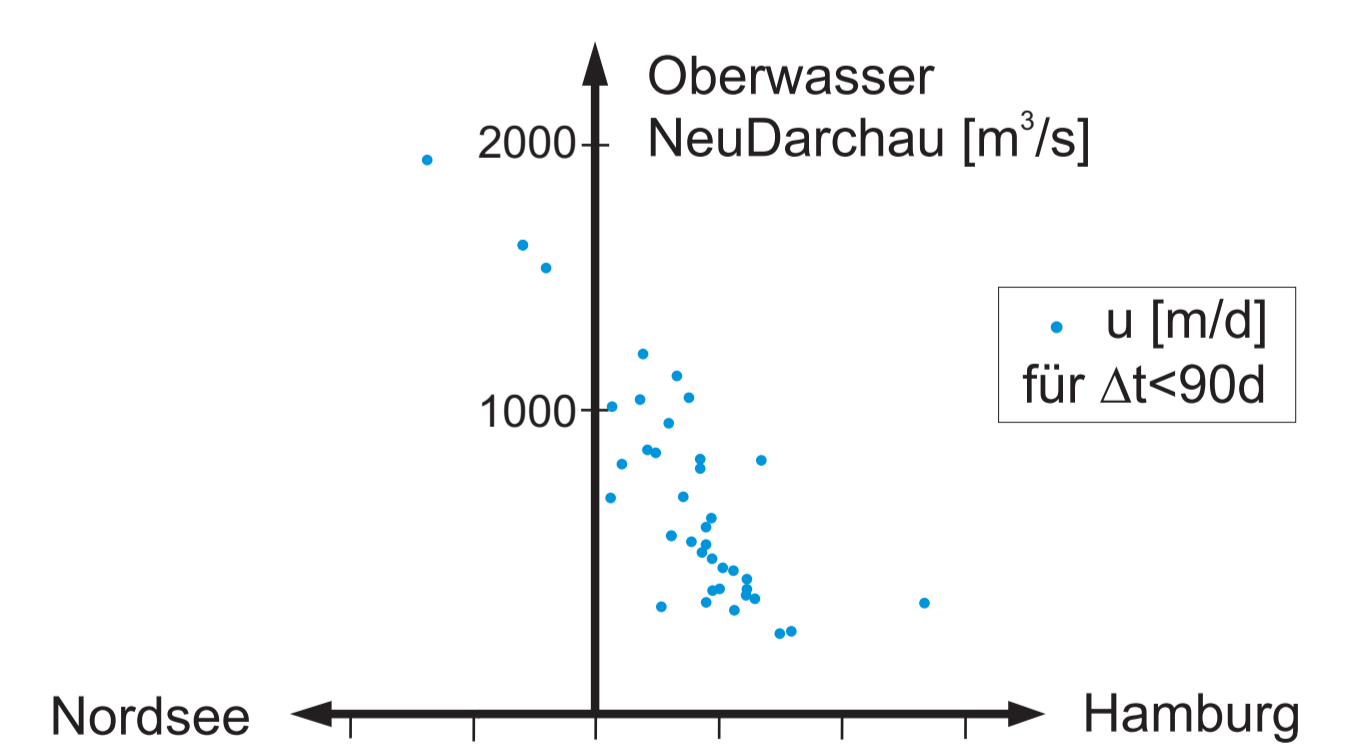


Abb. 5: Mittleres Oberwasser und Wandergeschwindigkeit zwischen je zwei aufeinander folgenden Peilungen

Richtung Hamburg wandern, führen Abflüsse oberhalb eines Grenzabflusses von  $Q_{\text{grenz}} > 1400 \text{ m}^3/\text{s}$  zu einer Umkehr der Wanderrichtung hin zur Nordsee.

Frühere Studien (Nasner, 1974) zeigten, dass die Dünen hauptsächlich stromab wandern. Diese Änderung kann möglicherweise auf den Anstieg des mittleren Tidenhubs der letzten Jahrzehnte und die stärkere Tideasymmetrie zurück geführt werden.

