

ZUR MESSUNG WELLENERZEUGTER SUSPENDIERTER SEDIMENTKONZENTRATIONEN

von

Alireza Ahmari¹

Joachim Grüne²

Hocine Oumeraci³

ABSTRACT

The measurement of suspended sand concentration has been increasingly improved in recent years. There is a strong requirement to record and analyse the suspended sand transport as the major part of estimating the total sediment transport due to waves, which is important for several coastal engineering topics. Experiments with movable sand bed were carried out recently in the Large Wave Channel (GWK) of the Coastal Research Centre (FZK) to measure the Suspended Sediment Concentrations (SSC) under regular and irregular waves using multi frequency Acoustic Backscatter Sensors (ABS), Optical Backscatter Sensors (OBS) and Transverse Suction System (TSS). The proposed paper focuses on recording and analysis of the temporal and spatial vertical distribution of suspended sediment concentrations by means of acoustic measurement technique for different wave regimes (Non-breaking, breaking and broken waves).

1. EINLEITUNG

Die sandigen Küstenregionen leiden unter ständigen morphologischen Veränderungen (Erosion und Anlandung). Die fortdauernde Küstenverformung, die auf Wechselwirkungen zwischen Morphologie (Sandboden) und Hydrodynamik (Wasserbewegung) zurückzuführen ist, liefert als Resultat eine beträchtliche Menge an transportierten Sedimenten. Da der Hauptteil des Sedimenttransports an der Küste aus Suspensionsfracht besteht, sind die genauen Kenntnisse über Konzentrationsverteilungen von Sandkörnern oberhalb der Sandsohle von großer Bedeutung und ermöglichen die Mobilisierungs-, Bewegungs- und Transportprozesse von Sedimenten realistischer zu beschreiben. Entscheidend ist allerdings dabei eine genaue zeitlich-räumliche Erfassung der Konzentrationsverteilung der suspendierten Sedimente in Abhängigkeit der jeweiligen Seegangskarakteristiken. Dank der modernen akustischen und optischen Methoden ist es möglich, die Konzentration von suspendierten Sedimenten mit einer hohen zeitlich- räumlichen Genauigkeit zu ermitteln. Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, die physikalischen Prozesse der zeit- und raumabhängigen Veränderungen der suspendierten Sedimentkonzentration (SSC) unter

¹ Dipl.-Ing., Forschungszentrum Küste (FZK), Merkurstraße 11, 30419 Hannover

² Dipl.-Ing., Forschungszentrum Küste (FZK), Merkurstraße 11, 30419 Hannover

³ Prof. Dr.-Ing., Leichtweiß-Institut, Beethovenstraße 51a, 38106 Braunschweig

verschiedenen Seegangbedingungen im großmaßstäblichen Labor zu untersuchen. Die Untersuchungsergebnisse sollen als Grundlage für die Entwicklung eines neuartigen Modells dienen, das die zeitlich-räumliche Verteilung der suspendierten Sedimentkonzentrationen in Abhängigkeit unterschiedlicher Wellenregime beschreibt. Die vorliegende Arbeit präsentiert exemplarisch einen Ausschnitt der bisherigen Ergebnisse einer von mehreren Messstationen entlang des im GWK aufgebauten Strandprofils.

2. VERSUCHSAUFBAU

Die Experimente zur Messung und Beschreibung von suspendierten Sedimentkonzentrationen wurden im GROSSEN WELLENKANAL (GWK) durchgeführt (AHMARI et al., 2008). Der Wellenkanal hat eine Länge von 330 m, eine Breite von 5 m und eine Tiefe von 7 m. Das Bodenmaterial bestand aus Sand mit einem mittleren Korndurchmesser von $D_{50}=0.24\text{mm}$ und einer Ungleichförmigkeitszahl von $U=2.22$. Das Sandprofil ist so aufgebaut, dass die drei Untersuchungsbereiche: ebener Vorstrandbereich, Riffbereich und innere Brandungszone erkennbar sind.

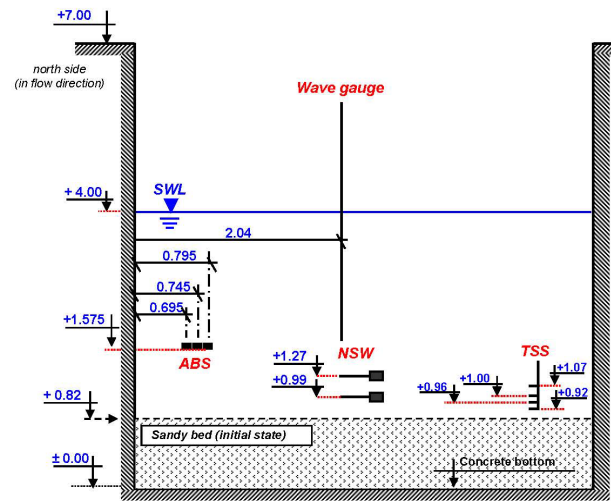


Abbildung 1: Querschnitt des Versuchsaufbaus

In Abb.1 ist der Versuchsaufbau in einem Querschnitt skizziert, der in einem Abstand von 111,45m von der Wellenmaschine liegt und den ebenen Vorstrandbereich darstellt, in dem die Wellen nicht brechen ($0,25 < H/h < 0,45$ und $0,08 < h/L < 0,13$).

Die suspendierten Sandkonzentrationen sind mit akustischen Sonden (*Multifrequency Acoustic Backscatter Sensors*, ABS, Typ *Aquascatt*) (THORNE and HARDCASTLE, 1997) und optischen Sonden (*Optical Backscatter Sensors*, OBS, Typ *Turbidimeter*) (KOS'YAN et al, 1995; GRÜNE et al. 2007) gemessen worden. Ein Absaugsystem (*Transverse Suction System*, TSS), das eine Wasser-Sand-Mischung in den bestimmten Abständen vom Boden durch Einlaufdüsen von der Strömung entnimmt (BOSMAN et al., 1987), ist ebenfalls eingesetzt worden, um die gemessenen zeitgemittelten Suspensionskonzentrationen denen der mit den oben erwähnten Methoden ermittelten gegenüberstellen zu können. Die simultane Wasserspiegelauslenkung η wurde mit zahlreichen Wellenpegeln entlang des Strandprofils und in den jeweiligen Messquerschnitten ermittelt.

Die Horizontal- und Vertikalkomponenten der Orbitalgeschwindigkeiten (v_x und v_y) wurden mit zwei elektromagnetischen Geschwindigkeitssonden (NSW-Sonden) gemessen, die jeweils 20 cm und 45 cm über dem Boden eingebaut wurden. Tabelle 1 fasst die maßgeblichen Spezifikationen und Messgenauigkeiten der jeweiligen Geräte zusammen. Um die Prozesse der Sedimentsuspension genauer erforschen zu können, sind die Versuche sowohl mit regelmäßigen als auch mit unregelmäßigen Wellen ausgeführt. Die regelmäßigen Wellen mit variablen Wellenparametern, Wellenhöhe H (0,8m bis 1,2m), Wellenperiode T (4 s bis 7 s) und Wassertiefe h (2,9m bis 3,2m), ermöglichen die Prozesse der suspendierten Sedimente in einem kontrollierbaren Zustand zu beschreiben. Um den Einfluss des Seegangs auf den Mechanismus des Sedimenttransports zu berücksichtigen, wurden unterschiedliche JONSWAP-Spektren mit H_s (0,8m bis 1,2m), T_p (4 s bis 7 s), Peakerhöhungsfaktor γ (1 bis 10) und h (2,9m bis 3,2m) simuliert.

Tabelle 1: Übersicht über die Geräteeigenschaften und Messgenauigkeiten

Parameter	Messgeräte	Messgenauigkeiten
Orbitalgeschwindigkeitskomponenten (v_x, v_y)	Geschwindigkeitssonde (NSW)	Analoge Ausgabe, Messfrequenz: 40 Hz
Korngrößen und Konzentrationen (D, C)	ABS: 1 MHz, 2.0 MHz, 4.0 MHz	Vertikaler Messbereich: 100 cm, Räumliche Genauigkeit: 0.01 m, Zeitliche Genauigkeit: bis 128 Hz
	Absaugsystem (TSS)	Ansauggeschwindigkeit: 1.5 m/s.
Wasserspiegelauslenkung (η)	Wellenpegel	Analoge Ausgabe, Messfrequenz: 40 Hz

3. VERSUCHSERGEBNISSE

Abb. 2 und 3 zeigen exemplarisch die mit einem JONSWAP-Spektrum ($h=3,15\text{m}$, $H_s=1,2\text{m}$, $T_p=5\text{s}$) ermittelten Versuchsergebnisse für ein Zeitfenster von 150 Sekunden. Die horizontale küstennormale Orbitalgeschwindigkeitskomponente v_x (gemessen 20cm über dem Boden) und die Wasserspiegelauslenkung η über den eingebauten Sonden sind in Abb. 2a dargestellt sowie in Abb. 2b-e die mit dem ABS zeit- und raumabhängig gemessenen Sedimentkonzentrationen in den bestimmten Abständen über dem Sandboden (10, 14, 18 und 24 cm). Zum Vergleich sind die mit dem ABS (grün gestrichelte Linie) und TSS (rot durchgezogene Linie) zeitgemittelten Sandkonzentrationen in den jeweiligen Höhen dargestellt. In Abb. 3 sind drei unterschiedliche vertikale Sedimentverteilungen verglichen (gelber Punkt, roter Punkt und schwarzer Punkt in Abb. 2a,f und Abb.3). Eine exponentielle Abnahme der Sedimentkonzentration bis 40 cm über dem Boden ist in den Abb. 3a und 3c zu erkennen, während Abb.3b eine Wolke von Sedimenten unter dem Wellental (Vgl. auch Abb. 2a) darstellt, welche auf eine Wirbelströmung durch einen geriffelten Boden hindeutet (THORNE et al., 2003).

Weiterhin zeigen Abb. 4 und 5 mit derselben Reihenfolge die Versuchsergebnisse der regelmäßigen Wellen in derselben Messstation. Abb. 5 zeigt die vertikalen Sandkonzentrationsverteilungen für drei aufeinanderfolgende Zeitabschnitte innerhalb einer Wellenperiode (Wellental: grüner Punkt, Nulldurchgang: roter Punkt und Wellenberg: schwarzer Punkt; siehe auch Abb. 4a-f). Während die Sandkonzentrationsmenge unter dem Wellenberg in Bodennähe größer ist, verteilen sich die Sedimente unter einem Wellental in einen größeren vertikalen Bereich über der Sandsohle. Oberhalb dieses Bereiches verlaufen die beiden Profile einigermaßen gleichartig. Bei dem Nulldurchgang der Welle ist die suspendierte Sandkonzentration deutlich geringer (Abb.5b, siehe auch Abb. 4f).

4. ZUSAMMENFASSUNG

Eine Reihe von Versuchen zur Messung der suspendierten Sedimentkonzentrationen sind im GROSSEN WELLENKANAL (GWK) durchgeführt worden. Die Versuchsergebnisse ergeben einen umfassenden Datensatz, der dazu dient, die zeitlich-räumliche Verteilung der suspendierten Sedimentkonzentrationen bei regelmäßigen und unregelmäßigen Wellen zu beschreiben. Die in diesem Beitrag präsentierten Ergebnisse stellen exemplarisch eine erste Analyse der Versuchsergebnisse in dem ebenen Vorstrandbereich mit regelmäßigen und unregelmäßigen Wellen (nicht brechend) dar. Die aus den Versuchsergebnissen gewonnenen Erkenntnisse sollen zu einem besseren Verständnis der Prozesse der Bewegung, der Verteilung und der Mitführung von suspendierten Sedimentkonzentrationen dienen und damit zu einer realistischeren Beschreibung des gesamten Sedimenttransports in den Küstenregionen.

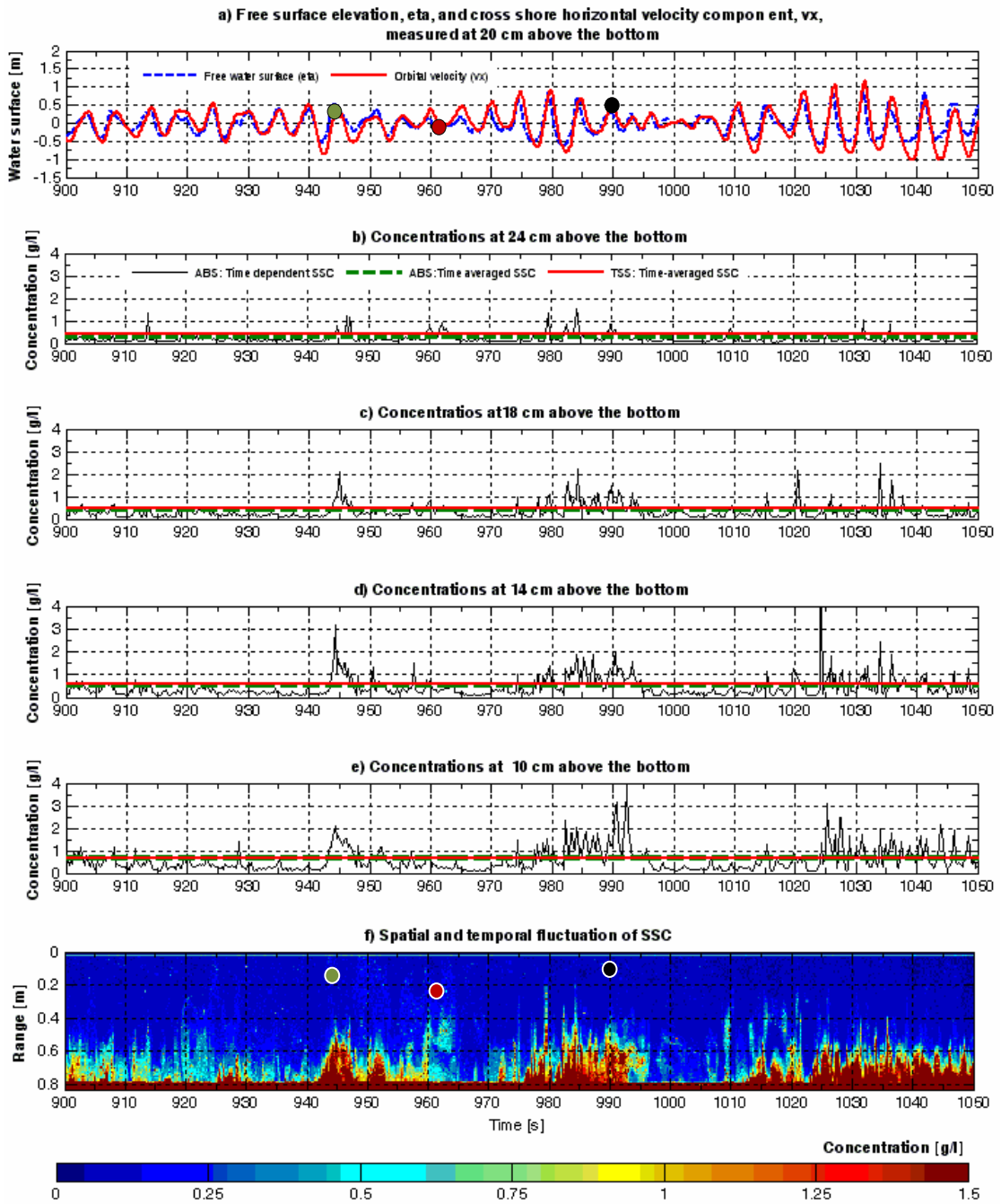


Abbildung 2: Ein 150 Sekundenlanges Zeitfenster gewählt aus einem Versuch mit Jonswap-Spektrum ($h=3,15\text{m}$, $H_s=1,2\text{m}$, $T_p=5\text{s}$). a) Wasserspiegelauslenkung η und die küstennormale Orbitalgeschwindigkeitskomponente v_x . b-e) Die ermittelten Sedimentfluktuationen in Abständen von 24, 18, 14 und 10 cm über dem Boden und f) Konzentrationskontur gemessen mit ABS.

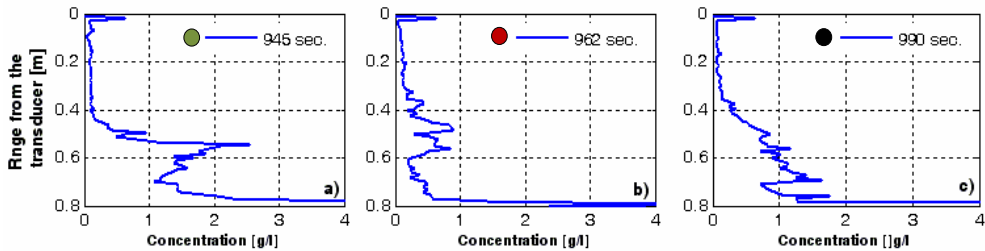


Abbildung 3: Vertikale Sedimentverteilung über der Sandsohle unter gewählten Zeitpunkten in der Zeitreihe: a) in 945 s (grüner Punkt), in 962 s (roter Punkt) und c) in 990 s (schwarzer Punkt) (siehe auch Abb. 2-a und f)

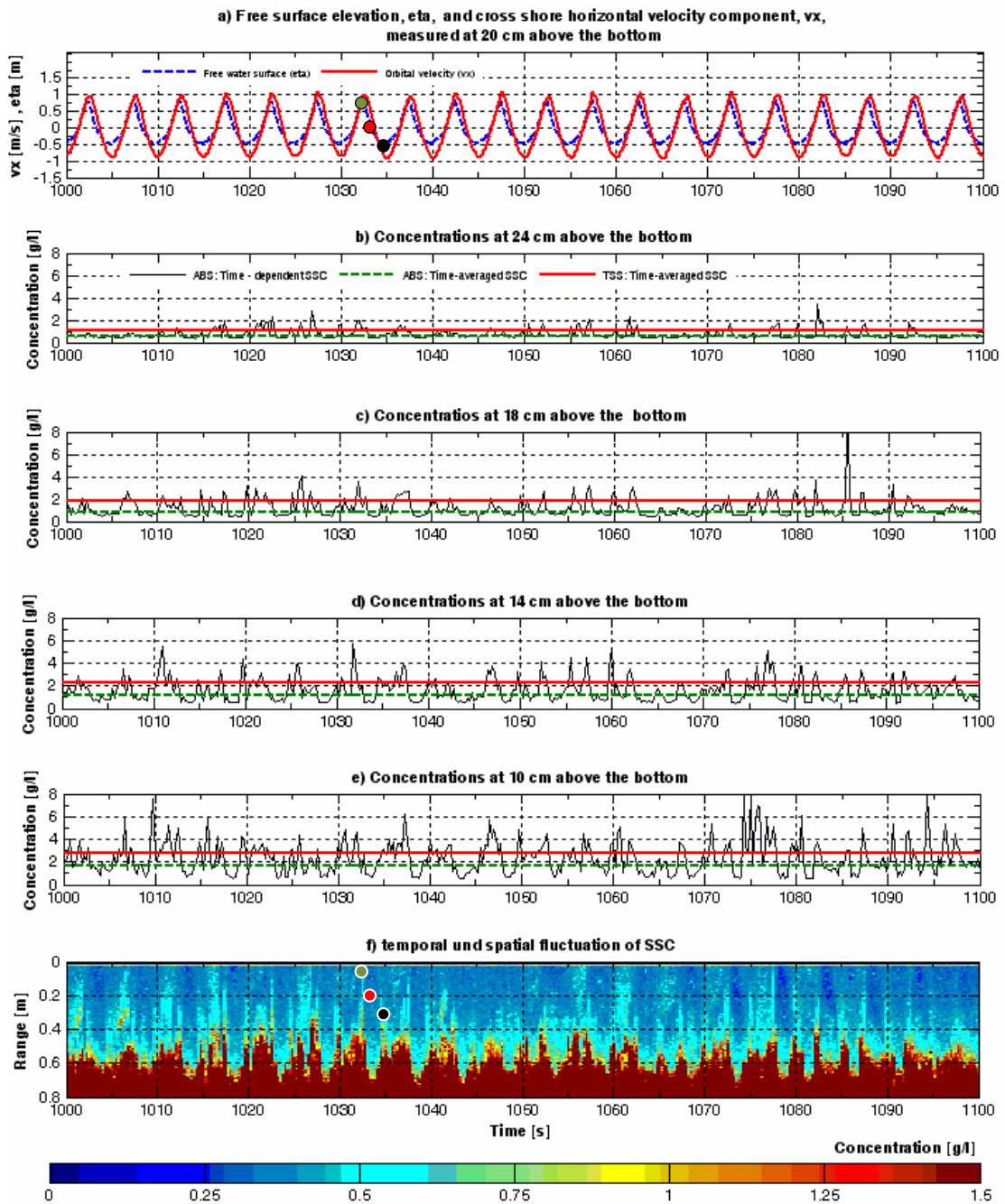


Abbildung 4: Ein 100 Sekundenlanges Zeitfenster gewählt aus einem regelmäßigen Wellenzug ($h=3,15\text{m}$, $H=1,2\text{m}$, $T=5\text{s}$). a) Wasserspiegelauslenkung η und die küstennormale Orbitalgeschwindigkeitskomponente v_x b-e) Die ermittelten Sedimentfluktuationen in Abständen von 24, 18, 14 und 10 cm über dem Boden und f) Konzentrationskontur gemessen mit ABS.

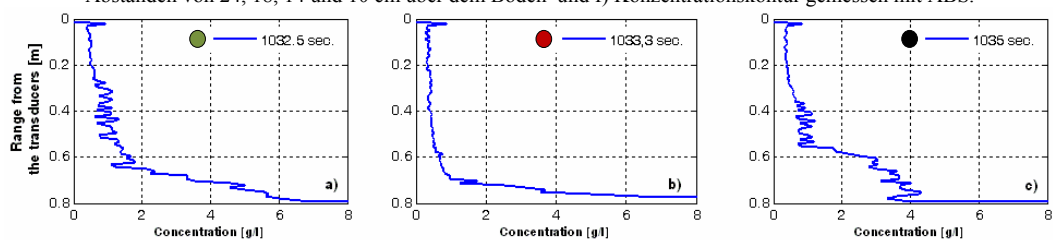


Abbildung 5: Vertikale Sedimentverteilung über der Sandsohle unter aufeinanderfolgendem Wellenberg, Nulldurchgang und Wellental innerhalb einer Wellenperiode gemessen mit ABS. a) Unter dem Wellenberg (grüner Punkt); b) Unter dem Null-Durchgang (roter Punkt) und c) Unter dem Wellental (schwarzer Punkt) (siehe auch Abb. 4-a und f)

5. DANK

Die dargestellten Untersuchungen wurden im Rahmen des Forschungsprojekts „SANDS“ als Teil des von der EU geförderten Projekts „Integrated Infrastructure Initiative HYDRALAB III“ (Contr. No. 022441 R113) sowie des vom BMBF geförderten Forschungsprojekts „ModPro“ (03KIS060) durchgeführt.

6. SCHRIFTTUM

AHMARI, A.; GRÜNE, J.; OUMERACI, H.: "Large scale laboratory measurement of suspended sediment concentration induced by non-breaking waves with acoustic backscatter technique", Proceedings on the Second International Conference on the Application of Physical Modeling to Port and Coastal Protection, Coastlab'08, 2008.

BOSMAN, J.J.; VAN DER VELDEN, E.T.,J.M; HULSBERGEN, C.H.: "Sediment Concentration Measurement by Transverse Suction", Coastal Engineering, vol.11 iss:4, 353 -370, 1987.

GRÜNE, J., KOS'YAN, R., OUMERACI, H., PODYMOV, I., SCHMIDT-KOPPENHAGEN, R., VINCENT, Ch. E.: "Large-scale laboratory modeling of sand concentration fluctuations under irregular waves", Proceedings of Coastal Sediments '07, ASCE, 1-11, 2007

KOS'YAN, R.; KUNZ, H.; PYKHOV, N.; KUZNETSOV, S.; PODIMOV, I.; VOROBYEV, P.: "Physical regularities for the suspension and transport of the sand under irregular waves" , Die Küste, Heft 64, 161-200, 2001.

THORNE, P. D.; DAVIES A. G., WILLIAMS J. J.: "Measurements of near bed intra-wave sediment entrainment above vortex ripples", Geophys. Res. Lett., Vo. 30, No. 20, 2028, OCE 2-1 - 2-4, 2003.

THORNE, P. D.; HARDCASTLE, P. J.: "Acoustic Measurements of Suspended Sediments in Turbulent Currents and Comparison with In-Situ Samples", J. Acoust. Soc. Amer., Vol. 101, No. 5, pt. 1, 2603-2614. 1997.