

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Leschka, Stefan; Stoschek, Oliver; Best, Jann

Numerische Modellierung von Propellerinduzierten Strömungsgeschwindigkeiten auf Böschungen

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103295>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Leschka, Stefan; Stoschek, Oliver; Best, Jann (2017): Numerische Modellierung von Propellerinduzierten Strömungsgeschwindigkeiten auf Böschungen. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Bemessung im Wasserbau - Klimaanpassung, Untersuchungen, Regeln, Planung, Ausführung. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 58. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 403-412.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Numerische Modellierung von Propeller- induzierten Strömungsgeschwindigkeiten auf Bö- schungen

Stefan Leschka
Oliver Stoschek
Jann Best

Schiffs-induzierte Wellen und Propellerstrahle verursachen maßgebende Belastungen von Böschungen und sind im Entwurf zu berücksichtigen. Existierende Standard-Lösungen (GBB; BAW, 2010) stellen empirische Formeln zur Verfügung, die in einigen Fällen jedoch zu hohen Sicherheitswerten führen (PIANC, 2015). Zunehmende Schiffsabmessungen und sich der daraus ergebende stärkere erforderliche Böschungsschutz regt daher eine Neubewertung der bestehenden Methoden an. Aufbauend auf einer von DHI durchgeführten detaillierten Messkampagne am Bubendey-Ufer im Hamburger Hafen erstellte DHI ein validiertes Computational-Fluid-Dynamics-Modell, um Strömungsgeschwindigkeiten auf Böschungen zu berechnen. Der Vergleich mit dem GBB zeigt das hohe Anwendungspotential des Modells für die Erstellung kosten-effizienter Böschungssicherungen auf.

Stichworte: Propellerstrahl, Feldmessungen, CFD-Berechnungen, Böschungen

1 Einleitung

Schiffs-induzierte Wellen und Propellerstrahle verursachen maßgebende Belastungen von Böschungen. Existierende Entwurfs-Richtlinien wie Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB; BAW, 2010) stellen hierfür empirische Formeln zur Verfügung. Strömungsgeschwindigkeiten im Propellerjet werden für standardisierte Fälle ermittelt, denen der jeweilige Bemessungsfall zuzuordnen ist. Im Zusammenhang mit freien Propellern werden zur Begrenzung der Strahlausbreitung ausschließlich vertikale Kaimauern seitlich und stromabwärts des Propellerstahls berücksichtigt.

Die Abschätzungen der Strömungsgeschwindigkeiten werden verwendet, um Materialeigenschaften wie Gesteinsgrößen für einen sicheren Böschungsentwurf zu bestimmen. Aktuell sind solche Abschätzungen sehr konservative (PIANC, 2015). Zunehmende Schiffsabmessungen und somit immer stärker beanspruchte

Böschungen steigern den Bedarf an Methoden, mit denen Böschungen einerseits sicher entworfen, mit denen aber andererseits auch wirtschaftliche Lösungen für Hafenanlagen bereitgestellt werden können.

Propeller und ihre Wechselwirkung mit Rudern verursachen komplexe Strömungsfelder im Heckbereich eines Schiffes. Das Phänomen umfasst Strömungskomponenten in axialer, tangentialer und radialer Richtung. Sie können mit Hilfe von empirischen Ansätzen, physikalischen Experimenten und numerischen Modellen ermittelt werden.

Propellerstrahlen wurden in den letzten Jahrzehnten systematisch untersucht, z.B. durch Albertson et al. (1950) und Lam et al. (2011). Stewart (1992) beschreibt die Strömungsgeschwindigkeiten im Strahl mit Hilfe von generiertem Schub, Drehmoment und Vorwärtsgeschwindigkeit des Schiffes. Der Schubbeiwert K_T ist besonders abhängig vom Propellertyp (Hamill et al., 1995), der anhand des Konstruktionssteigungsverhältnisses P/D_p beschrieben werden kann. Fröhlich et al. (1977) haben für K_T einen Bereich von 0,6 bis 1,4 ermittelt. Die Geschwindigkeitsverteilung im Propellerstrahl wurde von Albertson et al. (1950) mit Hilfe der axialen Impulstheorie beschrieben.

Der Einfluss des Ruders wurde beispielsweise durch Blaauw & van de Kaa (1978) untersucht, wo gezeigt wird, dass der Propellerstrahl in einen aufwärts und einen abwärts gerichteten Strom aufgespalten wird. Die maximale Strahlgeschwindigkeit am Boden wurde durch Führer & Römisch (1977) in Abhängigkeit von P/D_p und eines Koeffizienten beschrieben. Der mit zunehmender Entfernung eintretende Geschwindigkeitsabfall sowie die vertikale Geschwindigkeitsverteilung wurden durch Hamill & McGarvey (1996) und Sumer & Fredsoe (2002) beschrieben.

Im Rahmen von numerischen (CFD-) Untersuchungen von Propeller-induzierte Strahlen wird der (1) Modell-Ansatz mit gleitendem Netz („Sliding Mesh Model“), (2) der Ansatz mit mehreren Bezugssystemen („Multiple Reference Frame Approach“) oder (3) ein Impulsquellenmodell („Momentum Source Model“, MSM) angewandt (Hough & Ordway, 1964). Detaillierte numerische Untersuchungen der Ruder-Propeller-Wechselwirkung zeigten, dass der Einfluss der instationären Propellerströmung vernachlässigt und stationäre Rechnungen durchgeführt werden können, solange die radiale Variation im axialen und tangentialen Impuls enthalten ist, der vom Propeller erzeugt wird (Phillips et al., 2010). Daher wird in dieser Studie das MSM verwendet.

Sie beinhaltet den Vergleich von Ergebnissen eines CFD-Modells mit Feldmessungen für drei verschiedene Fälle. Die Messungen werden in Abschnitt 2 beschrieben, der Aufbau des numerischen Modells in Abschnitt 3. Es folgt die Prä-

sentation der Ergebnisse und eine Diskussion, die sie hinsichtlich empirischer Ansätzen einordnet.

2 Feldmessungen

Die Messungen erfolgten am Bubendey-Ufer in Hamburg im Lauf einer Woche im September 2014. Eine Skizze des Ufers ist in Abbildung 1 gegeben.

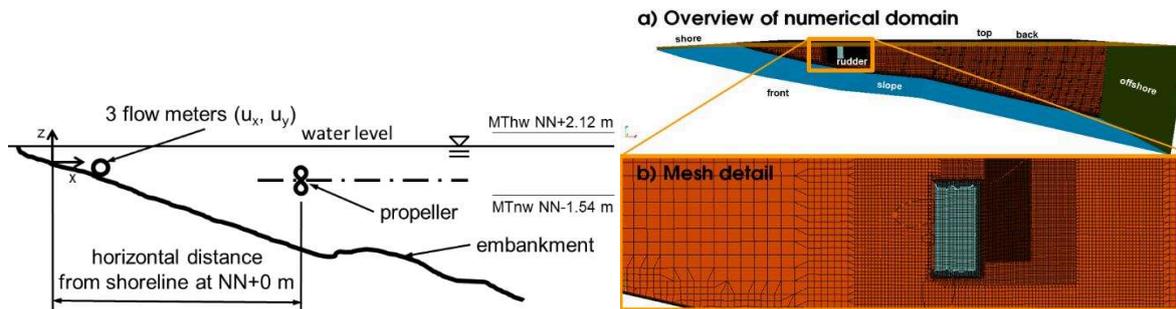


Abbildung 1: Links: Querschnitt der Uferböschung (modifiziert von Heinrich Weseloh Straßen- und Tiefbau GmbH, 2014). Rechts: Ansicht des Berechnungsnetzes

Die Steigung der Böschung wurde mittels Messungen bestimmt und beträgt ca. 1:3. Der Schlepper „Schleppko“ wurde in Ufernähe in einem Winkel von ca. 90° zum Ufer platziert. Ein Ponton wurde neben dem Schlepper ausgelegt, um seine Position und Ausrichtung zu stabilisieren. Er verfügt über einen Hauptantrieb mit einer Leistung von 500 kW. Der Propellerdurchmesser beträgt 1,72 m. Das Konstruktionssteigungsverhältnis ist 0,661.

Um den Einfluss von natürlichen Fluss- und Tide-Strömungen von den Messdaten zu trennen, wurden vor und nach jedem Test „null“-Messungen durchgeführt, während denen sich der Propeller nicht drehte. Die zwei „null“-Messungen beinhalten somit nur die natürlichen Strömungen. Linear über die Zeit zwischen den „null“-Messungen interpoliert konnte der Einfluss weitgehend reduziert werden. Die Messbedingungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Szenario m1 wurde verwendet, um das numerische Modell zu kalibrieren. Die Szenarien m2 und m3 dienten der Modellvalidierung. Drei Strömungssensoren zur Messung der Ufer-normalen und Ufer-parallelen Geschwindigkeitskomponenten wurden entlang der Propellerachse und daneben platziert. Die Koordinaten sind in Tabelle 2 aufgeführt. Der Ursprung des Versuchs-Koordinatensystems liegt auf dem Schnittpunkt von Küstenlinie und Propellerachse, wenn der Wasserstand bei NN+0m ist (vergl. Abb. 1).

Tabelle 1 Messbedingungen

Szenario	m1 Kalibrierung	m2 Validierung	m3 Validierung
Datum	16.9.2014	17.9.2014	19.9.2014
Startzeit	10:56	11:36	10:42
Wasserstand [mNN]	1,42	1,38	1,45
Propellerachsenlage [mNN]	-0,38	-0,34	-0,32
Atmosphärischer Druck [hPa]	1019	1019	1012
Maschinenkapazität [%]	50	25	70
Propellerdrehzahl [U/min]	250	192	275
Entfernung vom Ufer [m]	16,55	16,95	16,53
Umgebungsströmungsgeschwindigkeit [m/s]	0,16	0,10	0,07

Tabelle 2 Koordinaten der Strömungssensoren (siehe Abb. 1)

Strömungssensor	x [m]	y [m]	z [m]
VS1	1,47	1,80	-0,289
VS2	1,29	-2,19	-0,247
VS3	1,39	-0,06	-0,270

3 Numerisches Modell

3.1 OpenFOAM

Alle CFD-Simulationen wurden mit OpenFOAM® (OpenFOAM Foundation, 2011) durchgeführt. Dabei wurde der Löser simpleFoam verwendet, der auf den stationären Reynolds-gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen (Reynolds-averaged Navier-Stokes, RANS) basiert. Hier wurde das k- ϵ -Turbulenzmodell mit einer Turbulenzintensität 10% angewandt.

Die asymmetrische axiale und tangentielle Volumenkraft (MSM) wurde in simpleFoam nach Paterson et al. (2003) implementiert.

3.2 Numerischer Modellbereich und Berechnungsnetz

Der numerische Modellbereich und das Berechnungsnetz sind in Abbildung 1 dargestellt. Der Modellbereich erstreckt sich über 30 m Uferlänge und 43,45 m von der Propellerscheibe in Richtung Flussmitte. Er schließt die gemessene Böschungsförmung ebenso ein wie die genaue Rudergeometrie des Schleppers. Der Schiffsrumpf wurde im Modell vernachlässigt.

Das Netz wurde um das Ruder herum, im Bereich der Propellerscheibe und im Böschungsbereich bis zu 0,01 m verfeinert. Die Netzkonvergenz wurde getestet, indem die maximale Strömungsgeschwindigkeit im Verhältnis zur Zellenhöhe an der Böschungssteigung bewertet wurde.

3.3 Randbedingungen

Der obere Rand „top“ des numerischen Modellgebiets wurde auf der Höhe des Ruhewasserspiegels festgelegt. Es wird darauf hingewiesen, dass die freie Wasseroberfläche aus Gründen der Vereinfachung und schnelleren Modellkonvergenz nicht modelliert wurde. Dort wurde reibungsfreie (sog. „slip“-) Randbedingungen angesetzt. Am der Flussmitte zugewandten Rand „offshore“ wurde die sogenannte „pressureInletOutletVelocity“-Bedingung zusammen mit der „totalPressure“-Bedingung für Druck angewendet, so dass Wasser in das Modellgebiet hinein und aus ihr heraus gelangen kann. An den seitlichen Rändern „front“ und „back“ wurde die Geschwindigkeitsbedingung „inletOutlet“ mit einem festgelegten Druckwert gepaart. Am Boden wurden die Geschwindigkeiten auf null gesetzt. Drücke befolgen die Gradienten-freie Bedingung. Um die Geosteinssgrößen auf der Böschung zu berücksichtigen, wurde die sogenannte „nURoughWallFunction“-Wandfunktion angewendet, die es erlaubt, die Rauigkeitshöhe von hier 0,03 m anzusetzen.

3.4 Simulationsmatrix

Als Teil des Kalibrierungsprozesses wurden Sensitivitätstests durchgeführt, bei denen die einzelnen MSM-Parameter um jeweils 10% verändert wurden (Szenarien s1.0 bis s1.4). Die Validierungsfälle sind mit s2 und s3 bezeichnet. Eine Übersicht befindet sich in Tabelle 3.

Tabelle 3 Simulationsmatrix für Kalibrierung und Validierung (veränderte Werte fett)

Szenario	s1.0	s1.1	s1.2	s1.3	s1.4	s2	s3
Maschinenleistung	50 %	50 %	50 %	50 %	50 %	25 %	70 %
K_T	0,837	0,837	0,837	0,837	0,921	0,837	0,837
K_Q	0,029	0,032	0,029	0,029	0,029	0,032	0,031
U₀	5,902	5,902	5,902	6,493	5,902	4,685	6,603
J	0,824	0,824	0,906	0,842	0,842	0,851	0,838

4 Ergebnisse

Das numerische Modell berechnet stationäre Geschwindigkeiten und liefert keine Informationen über Geschwindigkeitsschwankungen, die während des Propellerantriebs auftreten. Daher wurden die numerisch berechneten Geschwindigkeiten mit gemittelten Messdaten verglichen. Da die Messungen jedoch dynamische Variationen in der Größenordnung der gemessenen Geschwindigkeiten offenbaren, können sie nicht vernachlässigt werden. Um das Verhältnis zwischen Mittelwerten und Schwankungen beizubehalten, wurden die gemessenen Schwankungen auf die numerischen Ergebnisse übertragen, indem die Verhältnisse

$$\frac{u_{i,j,\min}}{u_{m1,j,\min}} = \frac{u_{i,j,\text{avg}}}{u_{m1,j,\text{avg}}} = \frac{u_{i,j,\max}}{u_{m1,j,\max}} \quad (5)$$

für die Geschwindigkeiten u verwendet wurden. $i=\{1.0,1.1,1.2,1.3,1.4,2,3\}$ gibt die Versuchsnummer an, $j=\{x,y\}$ die Richtung der Geschwindigkeitskomponente, \min steht für minimale Werte, \max für maximale Werte und $m1$ markiert gemessene Werte während der Messung mit 50% Maschinenleistung. x ist die Richtung senkrecht zum Ufer (siehe auch Abbildung 1) und y ist die parallele Richtung. Das Verhältnis aus Gleichung (5) wurde für die Validierungssimulationen mit 25 und 70% Maschinenleistung übernommen.

4.1 Kalibrierung

Die gemessenen und berechneten Geschwindigkeiten senkrecht und parallel zum Ufer, die im Propellerstrahl bei 50% der Maschinenleistung auftreten, werden in Abbildung 2 gezeigt.

Alle numerisch berechneten Ufer-normalen Geschwindigkeiten übertreffen die gemittelten gemessenen Geschwindigkeiten (siehe Abbildungen 5a), c) und e)). Verglichen mit den großen Geschwindigkeitsschwankungen bewegen sich die simulierten Geschwindigkeiten innerhalb des Bereiches der gemessenen Geschwindigkeiten. Unter Berücksichtigung dieser Fluktuationen führt ein Vergleich der Maximalgeschwindigkeiten senkrecht zum Ufer in Propellernähe zu Abweichungen von 18% gegenüber den original berechneten MSM-Parametern (Fall s1.0). Die Übereinstimmung ist somit gut.

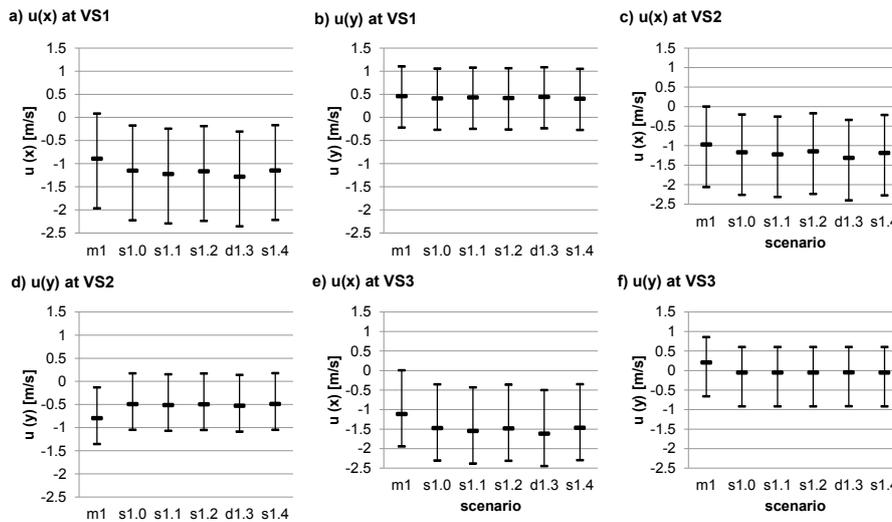


Abbildung 2: Gemessene und simulierte Geschwindigkeitsmittelwerte (Kalibrierung mit 50 % der Maschinenleistung). Für m1 bezeichnen die schwarzen Linien die Schwankungsbreite der Messwerte, die auf die Simulationen s1.0 bis s1.4 übertragen wurde (siehe Gleichung (5)).

4.2 Validierung

Die gemessenen und berechneten Geschwindigkeiten senkrecht und parallel zum Ufer, die im Propellerstrahl bei 25% der Maschinenleistung auftreten, werden in Abbildung 3 gezeigt.

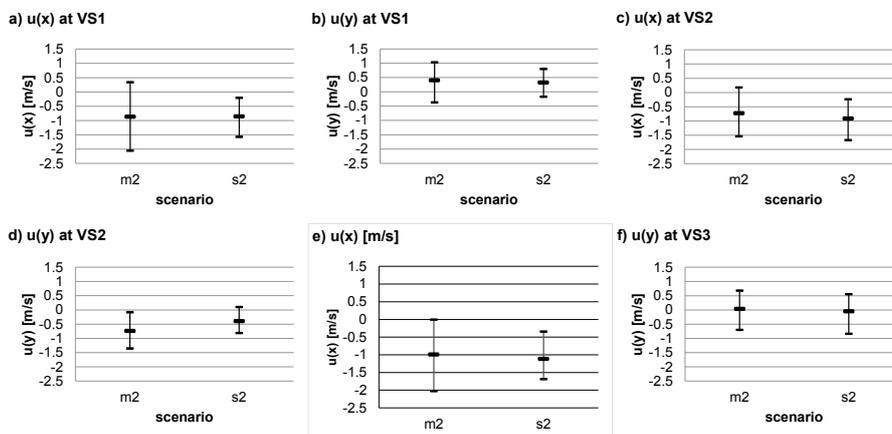


Abbildung 3: Gemessene und simulierte Geschwindigkeiten (Validierung mit 25 % Maschinenleistung). Für m2 bezeichnen die schwarzen Linien die Schwankungsbreite der Messwerte. Für s2 wurde die Schwankungsbreite aus der Kalibrierung (m1) übertragen (siehe Gleichung (5))

Für die Ufer-normale Geschwindigkeitskomponente nimmt die Abweichung in den äußeren Sensoren Werte von 1 und 26% an (siehe Abbildung 5 a) und c). Am mittleren Sensor beträgt die Abweichung bei den Maximalgeschwindigkeiten 12% (siehe Abbildung 5 e)), wobei der numerisch berechnete Wert die gemessenen Werte übertrifft.

Ein weiterer Vergleich wurde für 70% der Maschinenleistung durchgeführt. Nahe der Propellerachse werden die maximalen senkrechten Geschwindigkeiten um 31% überschätzt. Das numerische Modell berechnet somit konservative Werte für die böschungsnormale Richtungskomponente der Strömung.

Insgesamt wurde eine akzeptable Übereinstimmung für die Validierungsfälle festgestellt. Das numerische Modell berechnet in allen Fällen konservative Werte für die Maximalgeschwindigkeiten nahe der Propellerachse.

4.3 Vergleich mit der GBB-Standardmethode

Die hier untersuchte Situation ist vergleichbar mit Standardsituation 2 (BAW, 2010). Die Geschwindigkeiten wurden den CFD-Ergebnissen in einer Entfernung von 0,03 m entnommen, was im Bereich der äquivalenten Sandrauigkeit liegt (Adams et al., 2012). Die Maximalgeschwindigkeiten werden in Tabelle 4 wiedergegeben.

Tabelle 4 Maximalgeschwindigkeiten über der Uferböschung nach CFD- und GBB-Methode

Maschinenleistung	CFD	GBB
25 %	1,25 m/s	3,14 m/s
50 %	1,63 m/s	4,23 m/s
70 %	1,66 m/s	4,55 m/s

Die Maximalgeschwindigkeiten der CFD-Modelle nehmen Werte zwischen 36 und 40% der GBB-Werte ein. Es sollte beachtet werden, dass Standardsituation 2 in BAW (2010) einen horizontalen Boden aufweist. Eine Böschung wie in diesem Fall würde den Propellerstrahl nach oben beugen. Dies wird in der GBB-Methode nicht berücksichtigt. Die Unterschiede zwischen den CFD- und GBB-Ergebnissen ist somit auf die starke Verallgemeinerung in BAW (2010) zurückzuführen.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

In dieser Studie wurde ein CFD-Modell mit Hilfe von in-situ Messungen im September 2014 am Bubendey-Ufer in Hamburg kalibriert und validiert. Die modellierten Ergebnisse stimmen gut mit den Messungen überein. Das Modell liefert konservative Abschätzungen.

Die Ergebnisse wurden mit der GBB-Methode (BAW, 2010) verglichen. Für die hier untersuchten Fälle liegen die CFD-Ergebnisse unter 50 % der GBB-Werte. Der Hauptgrund für diese Abweichung liegt im hohen Grad der Verallgemeinerung in der GBB-Methode.

Der CFD-Ansatz hat sich als effiziente und ökonomische Alternative für den Böschungsentwurf erwiesen, weil er lokale Bedingungen wie Böschungsneigung berücksichtigen kann.

6 Danksagung

Die Autoren danken Michel Kopsiske (TU Braunschweig) für seinen Beitrag bei der korrekten Anwendung der GBB-Methode und bei der Begutachtung der Messdaten.

7 Literatur

- BAW (2010): Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen, *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 87*, Karlsruhe, Deutschland.
- PIANC (2015). Guidelines for protecting berthing structures from scour caused by ships, Report no. 180 of MARCOM WG 48, Brüssel, Belgien.
- Albertson, M.L.; Dai, Y.B.; Jensen, R.A.; Rouse, H. (1950). Diffusion of a submerged jet. Transactions of the American Society of Civil Engineers (ASCE), (Paper no. 2409) 115: pp. 639-697.
- Lam, W.; Hamill, G.A.; Song, Y.C.; Robinson, D.J.; Raghunathan, S. (2011). A review of the equations used to predict the velocity distribution within a ship's propeller jet. *Ocean Engineering* 38: pp. 1-10.
- Steward, D.P.J. (1992). Characteristics of a ship screw wash and the influence of a quay wall proximity. PhD thesis, Queen's University, Belfast/Großbritannien.
- Hamill, G.A.; Johnson, H.T.; Steward, D.P.J. (1995). Estimating the velocity in a ship's propeller Wash. *PIANC Bulletin*, Edinburgh/Großbritannien, S9.
- Froehlich, D.C.; Shae, C.C.; Damigella, R.J. (1998). Screwed-Up Riprap: Sizing Rock Riprap to Resist Propeller-Induced Erosion. XII(3). PB Technote, PB Network.
- Blaauw, H.G.; van de Kaa, E.J. (1978). Erosion of bottom and sloping banks caused by the screw race of manoeuvring ships. In Proc. of the 7th International Harbour Congress (also Paper no. 202, Delft Hydraulics), Antwerp/Belgien, Juli 1978.
- Fuehrer, M.; Roemisch, K. (1977). Effects of modern ship traffic on inland- and ocean waterways and their structures. In Proc. Of the XXIV. PIANC Congress, Section 1-3, Leningrad/Russland.
- Verheij, H.J. (1983). The stability of bottom and banks subject to the velocities in the propeller jet behind ships. 7th International Harbour Congress (also Paper no. 303, Delft Hydraulics), Antwerp/Belgien, April 1983.

- Hamill, G.A.; McGarvey, J.A. (1996). Design for propeller action in harbours. In Proc. of the 25th International Conference on Coastal Engineering, Orlando/Florida.
- Sumer, B.M.; Fredsoe, J. (2002). The Mechanics of Scour in the Marine Environment. World Scientific.
- Hough, G.R.; Ordway, D.E. (1964). The Generalized Actuator Disc. TAR-TR 6401, Therm Advanced Research, Inc., Ithaca, New York.
- Phillips, A.; Furlong, M.; Turnock, S.R. (2010). Accurate capture of rudder-propeller interaction using a coupled blade element momentum-RANS approach. Ship Technology Research (Schiffstechnik) 57: pp. 128-139.
- Heinrich Weseloh Straßen- und Tiefbau GmbH (2014). Bubendeyufer Böschungsinstandsetzung Teil 1 Achse 401, Technical drawing on bottom scanning data 25/07/2014, Station 0+144,000, profile no. 61.3.9, 9/12/2015.
- The OpenFOAM Foundation (2011). OpenFOAM-The Open Source CFD Toolbox. User Guide, <http://www.openfoam.org>, last accessed: 23/12/2015.
- Paterson, E.G.; Wilson, R.V.; Stern, F. (2003). General-purpose parallel unsteady RANS ship hydrodynamics code: CFDSHIP-IOWA. Report no. 432, Nov. 2003, IIHR, Universität Iowa, Iowa City.
- Adams, T.; Grant, C.; Watson, H. (2012). A Simple Algorithm to Relate Measured Surface Roughness to Equivalent Sand-grain Roughness. International Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics 1(1): pp. 66-71.

Autoren:

Dipl.-Ing. M.Sc. Stefan Leschka

DHI WASY GmbH
Niederlassung Bremen
Knochenhauerstraße 20/25
28195 Bremen

Tel.: +49 421 988821 16
Fax: +49 421 988821 18
E-Mail: sle@dhigroup.com

Dr.-Ing. Oliver Stoschek

DHI WASY GmbH
Niederlassung Bremen
Knochenhauerstraße 20/25
28195 Bremen

Tel.: +49 421 988821 21
Fax: +49 421 988821 18
E-Mail: ost@dhigroup.com

Dipl.-Ing. Jann Best

Hamburg Port Authority (AöR)
Neuer Wandrahm 4
20457 Hamburg

Tel.: +49 40 42847 2508
E-Mail: jann.best@hpa.hamburg.de