

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Report, Published Version

Thorenz, Carsten; Schulze, Lydia

Entwicklung eines vereinfachten Füllsystems für Sparschleusen. FuE-Abschlussbericht B3953.03.04.70002

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106980>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2018): Entwicklung eines vereinfachten Füllsystems für Sparschleusen. FuE-Abschlussbericht B3953.03.04.70002. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

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.

Verwertungsrechte: Alle Rechte vorbehalten

FuE-Abschlussbericht
Entwicklung eines vereinfachten
Füllsystems für Sparschleusen

B3953.03.04.70002

Dezember 2018

FuE-Abschlussbericht
Entwicklung eines vereinfachten Füllsystems für
Sparschleusen
B3953.03.04.70002

Beginn des Vorhabens: April 2012

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. B3953.03.04.70002

Aufgestellt von: Abteilung: Wasserbau im Binnenbereich
 Referat: Wasserbauwerke
 Projektleiter: Dr.-Ing. Carsten Thorenz
 Bearbeiterin: Lydia Schulze

Karlsruhe, Dezember 2018

Der Bericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BAW.

Zusammenfassung

Im Zuge der Bearbeitung der hydraulischen Gestaltung des Füll- und Entleersystems der neuen Schleusen Erlangen und Kriegenbrunn wurde ein vereinfachtes Füllsystem entworfen, bei dem das Druckkammerfüllsystem direkt über ein Drucksegmentobertor beaufschlagt wird. Erste numerische Untersuchungen zeigten, dass die hydraulische Leistungsfähigkeit bei Normalbetrieb den Anforderungen entspricht (Thorenz und Strybny, 2012). Im gestörten Betrieb ohne Sparbecken ist jedoch mit einem verstärkten Eintrag von Luft in das Füllsystem zu rechnen, welche die globalen Strömungseigenschaften des Systems maßgeblich beeinflussen könnten. Möglichst genaue Informationen über das Verhalten der Luft-Wasser-Strömung im untersuchten System sind daher von großer Bedeutung. Dies wurde im Rahmen dieses FuE-Vorhabens untersucht.

Im Bereich der gegenständlichen Maßstabsmodelle ergeben sich durch die Skalierung unvermeidbare Maßstabseffekte, die bei Luft-Wasser-Gemischen dazu führen, dass der tatsächliche Lufteintrag und die daraus entstehenden Effekte nicht maßstabsgetreu abgebildet werden. Die im Wasserbau üblichen computergestützten Modelle, die auf den Navier-Stokes-Gleichungen mit einem Volume-of-Fluid-Ansatz basieren, sind nur bei sehr hoher Gitterauflösung geeignet, den erwarteten Lufteintrag korrekt abzubilden. Im Rahmen dieses Projektes wurde daher ein alternativer numerischer Ansatz entwickelt, der die Untersuchung der Lufteintrags- und -transportprozesse ermöglicht.

Der entwickelte Ansatz wurde in die frei verfügbare CFD-Software OpenFOAM® (Weller et al., 1998) implementiert. Zum Vergleich wurde ein Labormodell des vorgestellten Schleusenkonzepts erstellt. Da die Naturähnlichkeit der Luftblasenbewegung im Labormodell nicht gegeben ist, wurde das Labormodell verwendet, um die Entwicklungen im numerischen Modell im Labormaßstab zu validieren.

Die Ergebnisse der durchgeführten Simulationen (vgl. Anlage 1) zeigten, dass der Lufteintrag einen erheblichen Einfluss auf die Schiffskräfte haben kann. Die aufsteigenden Blasen beeinflussen das Strömungsregime im vorderen Bereich der Schleusenkammer maßgeblich. Mit zunehmendem Zufluss und mit zunehmendem Lufteintrag in die Kammer steigen die Schiffskräfte an.

Die Sicherheit der Schifffahrt kann nur garantiert werden, wenn der Lufteintrag so klein bleibt, dass die Schiffskräfte nicht maßgeblich beeinflusst werden. Eine Minderung des Lufteintrages ist zum einen durch sehr langsames Befüllen der Schleuse möglich. Zum anderen sinkt der Lufteintrag mit kleiner werdender Restfallhöhe. Bei geringen Restfallhöhen wäre die Restfüllung einer Sparschleuse über einen vereinfachten Fallschacht denkbar, jedoch müsste bei einem Ausfall aller Sparbeckenebenen die Füllung sehr langsam erfolgen. Eine Optimierung der Formgebung des Fallschachtes könnte es ermöglichen, einen Teil der eingetragenen Luft noch vor dem Eintritt in die Druckkammer wieder ausgasen zu lassen. Zur Formgebung des Fallschachtes werden weitere Untersuchungen empfohlen.

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Bedeutung für die WSV	2
1.3	Untersuchungsziele	3
2	Untersuchungsmethodik	3
3	Ergebnisse	4
4	Empfehlungen	4
5	Literatur	5

Bildverzeichnis		Seite
Bild 1	Bisher übliches Füllsystem für Fallhöhen > 10 m mit seitlichen Umlaufkanälen	1
Bild 2	Neues vereinfachtes Füllsystem für Fallhöhen > 10 m mit horizontalem Fallschacht	2

Anlagenverzeichnis

Anlage 1 “Development of an Application-Oriented Approach for Two-Phase Modelling in Hydraulic Engineering”, Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 61, Technische Universität Dresden (Lydia Schulze)

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

1.1 Motivation

Für Sparschleusen mit großer Hubhöhe hat sich in Deutschland ein Füllsystem mit einer Druckkammer unter der eigentlichen Schleusenammer als einfache Gestaltungsvariante bewährt. Es wurden bereits mehrere Schleusen dieser Art gebaut und erfolgreich betrieben (Uelzen II, Sülfeld u.a.). Hierbei dient die Druckkammer zur gleichmäßigen Verteilung des einströmenden Füllwassers von Oberstrom und den Sparbecken. Die Verbindung zwischen Druckkammer und Schleusenammer erfolgt über eine Vielzahl von Düsen in der Zwischendecke. In der bisher üblichen Ausführung wird die Druckkammer über seitlich angebundene Zuleitungskanäle beaufschlagt, die seitlich an den Häuptionern vorbeigeführt und vor dem Schleusenoberhaupt an das Oberwasser angeschlossen werden. Die Einläufe werden dabei aufwändig gestaltet und möglichst tief angeordnet, um das Einziehen von Luft in das Füllsystem zu verhindern. Durch derartige Konstruktionen vergrößert sich der Baukörper erheblich, der Einlauf ist typischerweise etwa 30 - 40 m lang, 20 - 30 m breit und 10 - 15 m tief.

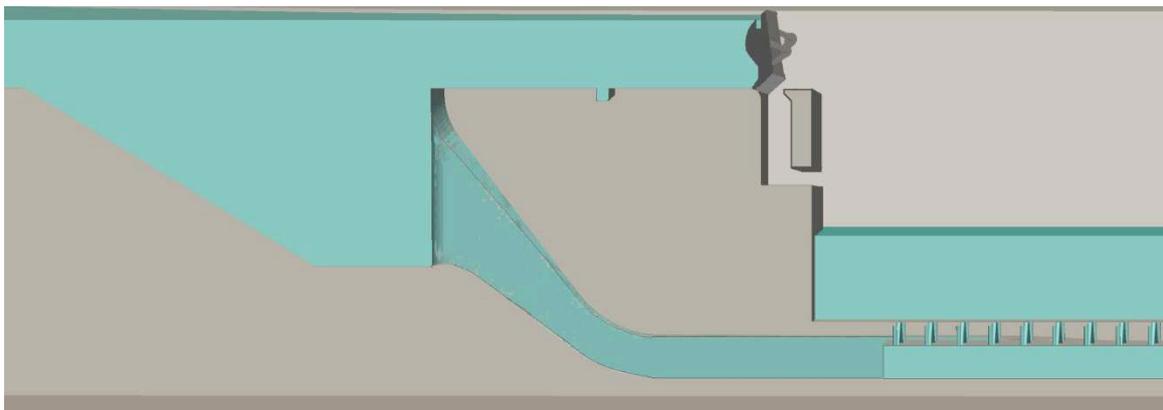


Bild 1 Bisher übliches Füllsystem für Fallhöhen > 10 m mit seitlichen Umlaufkanälen

Im Zuge der Bearbeitung der hydraulischen Gestaltung des Füll- und Entleersystems der neuen Schleusen Erlangen und Kriegenbrunn wurde die Idee verfolgt, auf Umläufe (und die zugehörigen Schütze) sowie einen tiefliegenden Einlaufbereich zum Anschluss an das Oberwasser vollständig zu verzichten. Hierzu wurde ein Konzept entwickelt, bei dem das Druckkammerfüllsystem direkt über ein Drucksegmentobertor beaufschlagt wird. Durch das leichte Schwenken des Tores nach unten wird eine Füllöffnung freigegeben, durch die Wasser über einen Fallschacht in die Schleusenammer einströmen kann. Das Drucksegment ist vom Bundesverkehrsministerium im Rahmen eines Standardisierungsprozesses als Vorzugslösung für zukünftige Planungen von Schleusen mit Hubhöhen < 10 m gewählt worden.

Erste numerische Untersuchungen zeigten, dass die hydraulische Leistungsfähigkeit bei Normalbetrieb den Anforderungen entspricht (Thorenz und Strybny, 2012). Im gestörten Betrieb ohne Sparbecken ist jedoch mit einem verstärkten Eintrag von Luft in das Füllsystem zu rech-

nen, welche die globalen Strömungseigenschaften des Systems maßgeblich beeinflussen könnten. Möglichst genaue Informationen über das Verhalten der Luft-Wasser-Strömung im untersuchten System sind daher von großer Bedeutung.

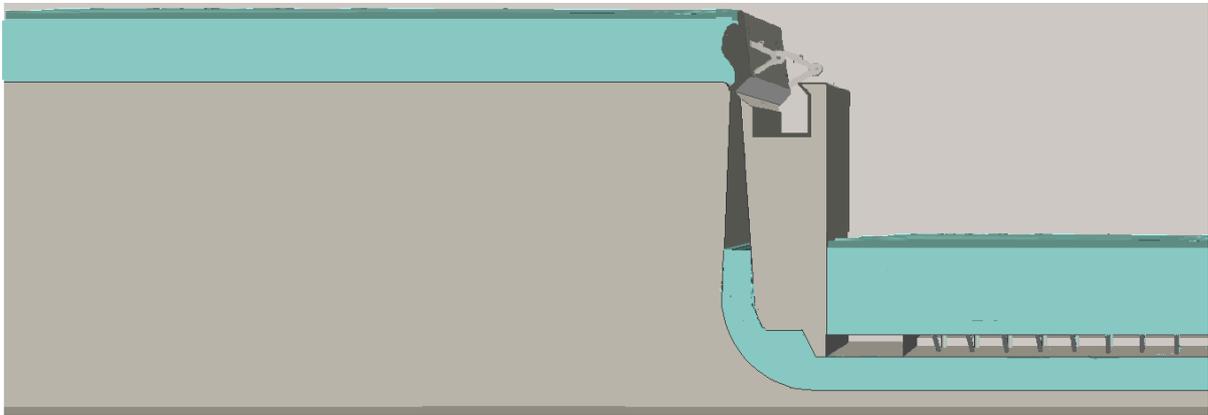


Bild 2 Neues vereinfachtes Füllsystem für Fallhöhen > 10 m mit horizontalem Fallschacht

Im Bereich der gegenständlichen Maßstabsmodelle ergeben sich durch die Skalierung unvermeidbare Maßstabseffekte, die bei Luft-Wasser-Gemischen dazu führen, dass der tatsächliche Lufteintrag und die daraus entstehenden Effekte nicht maßstabsgetreu abgebildet werden. Dies resultiert vor allem daraus, dass an der Phasengrenzfläche die Oberflächenspannung des Wassers eine entscheidende Rolle spielt, welche selbst bei der Verwendung eines Ersatzfluids mit entsprechender Oberflächenspannung das Verhalten der Luftblasen im Wasser nur fehlerhaft abbilden kann (Chanson, 1999). Bei der Untersuchung von Strömungen mit Hilfe von numerischen Werkzeugen können nur dann brauchbare Ergebnisse erzielt werden, wenn alle physikalisch relevanten Prozesse im Modellansatz hinreichend genau abgebildet werden. Die im Wasserbau üblichen computergestützten Modelle, die auf den Navier-Stokes-Gleichungen mit einem Volume-of-Fluid-Ansatz basieren, sind nur bei sehr hoher Gitterauflösung geeignet, den erwarteten Lufteintrag und den anschließenden Lufttransport in der Schleusenkammer abzubilden. Es muss daher ein alternativer Ansatz gefunden werden, um die Beeinflussung der Lufttransportprozesse auf den Schleusungsprozess zu untersuchen und die Machbarkeit des vorgeschlagenen Systems zu bewerten.

1.2 Bedeutung für die WSV

Das vereinfachte Füllsystem hätte erhebliche Vorteile: Durch den Verzicht auf die großen, tief liegenden Umläufe zur Befüllung der Schleuse vom Oberwasser und den Einsatz eines Drucksegments am Oberhaupt als Obertor und Füllorgan reduziert sich die Anzahl an schlecht erreichbaren Betriebsverschlüssen. Außerdem wird die Größe der benötigten Baugrube und des Gesamtbauwerkes erheblich verkleinert. Es ist davon auszugehen, dass dieses Konzept bei Realisierbarkeit zu einer erheblichen Reduzierung der Baukosten und der Betriebskosten großer Sparschleusen führt.

1.3 Untersuchungsziele

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, ein vorentworfenenes, neuartiges Füllsystem für Sparschleusen auf seine Praxistauglichkeit zu untersuchen und ggf. zu verbessern. Dazu ist es erforderlich, auch die numerischen Werkzeuge für die Berechnung von Luft-Wasser-Gemischen sowie die Bewegung von Schiffen in der Kammer weiterzuentwickeln.

Im Rahmen des Vorhabens soll ein anwendungsorientierter numerischer Ansatz für die Beschreibung von Zweiphasenströmungen entwickelt werden, mit dem die Modellierung von unterschiedlichen Strömungsregimes für Luft-Wasser-Gemische innerhalb eines Rechengebietes ermöglicht wird. Mit Hilfe dieses Ansatzes soll es möglich werden, ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen im Bereich von Luft-Wasser-Strömungen besser untersuchen zu können. Der entwickelte Ansatz soll in eine frei verfügbare CFD-Software (z.B. OpenFOAM®, Weller et al., 1998) implementiert werden.

Zum Vergleich wird ein Labormodell des vorgestellten Schleusenkonzepts erstellt. Da die Naturähnlichkeit der Luftblasenbewegung im Labormodell nicht gegeben ist, soll das Labormodell verwendet werden, um die Entwicklungen im numerischen Modell im Labormaßstab zu validieren, um dann mit dem numerischen Modell die Skalierung auf den Naturmaßstab durchzuführen.

2 Untersuchungsmethodik

Im Rahmen des Vorhabens wurde ein anwendungsorientierter numerischer Ansatz für die Beschreibung von Zweiphasenströmungen entwickelt, mit dem die Modellierung von unterschiedlichen Strömungsregimes für Luft-Wasser-Gemische innerhalb eines Rechengebietes ermöglicht wird. Der entwickelte numerische Ansatz ermöglicht die Simulation von Luft-Wasser-Strömungen, bei denen sowohl große, freie Wasseroberflächen als auch kleine disperse Blasen von Relevanz sind. Ausgehend von dem Volume-of-Fluid-Löser *interFoam*, der sich für die Modellierung von Freispiegelströmungen eignet, wurde in die frei verfügbare CFD-Bibliothek *OpenFOAM®* ein neuer Löser implementiert.

Um den Effekt von dispersen Blasen zu berücksichtigen, die mit dem Rechengitter nicht aufgelöst werden können, enthält der Ansatz zusätzliche Terme die die Relativgeschwindigkeit und den Impulsaustausch zwischen den Phasen berücksichtigen. Die Formulierung des Modells wurde an Damian (2013) angelehnt und mit einem empirischen Ansatz für die Ermittlung der Relativgeschwindigkeit nach Yapa und Zheng (2000) erweitert. Da gängige RANS-Turbulenzmodelle die Beeinflussung der Blasen mit den Geschwindigkeits-schwankungen der turbulenten Strömung nicht abbilden können wurde das Modell außerdem mit einem Zusatzterm in der Transportgleichung für die Gasphase erweitert. Dieser sorgt für zusätzliche Diffusion in Abhängigkeit von der lokalen turbulenten Viskosität und verhindert damit den zu schnellen Aufstieg von Blasen. Zum Vergleich wurde ein Labormodell des vorgestellten Schleusenkonzepts erstellt. Da die Naturähnlichkeit der Luftblasenbewegung im Labormodell nicht gegeben ist, wurde das Labormodell verwendet, um die Entwicklungen im numerischen Modell

im Labormaßstab zu validieren, um dann mit dem numerischen Modell die Skalierung auf den Naturmaßstab durchzuführen.

3 Ergebnisse

Mit Hilfe des neuen Löfers kann eine Vielzahl von Informationen über den Einfluss von eingemischter Luft auf die Strömung im Nahbereich von Wasserbauwerken gewonnen werden. Diese können für die Optimierung von bestehenden und zukünftigen Bauwerken genutzt werden. Insbesondere im Bereich der Schleusenplanung und -optimierung ermöglicht der entwickelte Ansatz neue Erkenntnisse: so kann mit Hilfe des neuen Ansatzes beispielsweise getestet werden, welchen Einfluss ein definierter Luftgehalt in dem vorgeschlagenen vereinfachten Füllsystem auf die Schiffskräfte während der Schleusung hat.

Die Ergebnisse der durchgeführten Simulationen (vgl. Anlage 1) zeigten, dass der Lufteintrag einen erheblichen Einfluss auf die Schiffskräfte haben kann. Die aufsteigenden Blasen beeinflussen das Strömungsregime im vorderen Bereich der Schleusenkammer maßgeblich. Mit zunehmendem Zufluss und mit zunehmendem Lufteintrag in die Kammer steigen die Schiffskräfte an.

Durch den Vergleich mit Messwerten aus einem gegenständlichen Modell wurde die Übereinstimmung für den Transport des Luftgehaltes mit der Strömung überprüft. Das gegenständliche Modell ermöglichte außerdem eine detaillierte Analyse der Strömungscharakteristik im vorgeschlagenen vereinfachten Füllsystem: es zeigte sich, dass mit zunehmender Öffnungsgeschwindigkeit des Drehsegmentobertors die Anzahl der eingetragenen Luftblasen massiv steigt. Bei großen Fallhöhen (die beispielsweise beim Ausfall der Sparbecken überwunden werden müssen) wird die eingetragene Luft sehr weit in die Druckkammer und anschließend in die Schleusenkammer eingetragen. In der Kammer erzeugt das Ausperlen der Blasen große, unvorhersehbare Kräfte auf das in der Kammer liegende Schiff. Bei kleinen Fallhöhen können die Blasen noch im Fallschacht entweichen und beeinflussen den Schleusungsvorgang daher nicht maßgeblich. Durch die Optimierung der Form des Fallschachtes könnte der Blaseneintrag noch verringert werden.

Anhand der verwendeten Fallstudien zeigten sich auch die Grenzen des Modells: der Lufteinmischungsprozess durch einen fallenden Wasserstrahl kann mit der entwickelten Methodik nicht abgebildet werden. Da dieser für die vollständige Modellierung von vielen Fragestellungen notwendig ist, besteht hier weiterer Forschungsbedarf. Außerdem ist in vielen Anwendungsfällen die Turbulenzmodellierung von großer Bedeutung. Daher sollte mit Hilfe von Validierungsfällen überprüft werden, ob die Implementierung für die Anwendung geeignet ist.

4 Empfehlungen

Die Untersuchungen des neuen Füllsystems mit Hilfe des neuen numerischen Ansatzes zeigten, dass der Lufteintrag einen erheblichen Einfluss auf die Schiffskräfte hat. Eine Gefährdung der Schifffahrt kann nur verhindert werden, wenn der Lufteintrag so klein ist, dass er keine maßgeblichen Schiffskräfte produziert. Eine Minderung des Lufteintrages ist zum einen durch sehr

langames Befüllen der Schleuse möglich. Zum anderen sinkt der Luftenrag mit kleiner werdender Restfallhöhe. Bei geringen Restfallhöhen wäre die Restfüllung einer Sparschleuse über einen vereinfachten Fallschacht denkbar, jedoch müsste bei einem Ausfall aller Sparbeckenebenen die Füllung sehr langsam erfolgen.

Durch die Optimierung der Form des Fallschachtes könnte der Blaseneintrag in die Kammer durch vorheriges Luftabscheiden verringert werden. Zur Formgebung des Fallschachtes werden weitere Untersuchungen empfohlen. Um quantitative Aussagen zum Luftenrag treffen zu können, muss das numerische Modell so weiterentwickelt werden, dass der Luftenrag durch fallende Strahlen physikalisch abgebildet werden kann. Hierzu wurde 2018 ein neues FuE-Vorhaben an der BAW begonnen.

5 Literatur

- Chanson, H. (1999): Air-water bubbly flows – Theory and Applications. Dissertationsschrift, School of Engineering, University of Queensland, Australien.
- Damian S. M. (2013): An Extended Mixture Model for the Simultaneous Treatment of Short and Long Scale Interfaces. Dissertationsschrift, Universidad Nacional del Litoral, Argentinien.
- Schulze, L., Rusche H., Thorenz, C. (2015): Development of a Simulation Procedure for the 3D Modelling of the Filling Process in a Navigation Lock Including Fluid Structure Interaction. In: Proceedings, 7th International PIANC-SMART Rivers Conference 2015, 07. -11. September 2015, Buenos Aires, Argentinien, Paper 28.
- Schulze, L., Thorenz, C. (2012): Physical model tests and simulation approaches for a navigation lock. In: Book of Abstracts, 7th OpenFOAM Workshop, Center of Smart Interfaces (CSI), TU Darmstadt, 25. - 28. Juni 2012, Darmstadt.
- Schulze, L., Thorenz, C. (2013): Towards the CFD-modelling of multiscale-multiphase flow phenomena in navigation locks. In: Proceedings, 6th International PIANC-Smart Rivers Conference 2013, Liège, Belgium, Maastricht, Niederlande.
- Schulze, L., Thorenz, C. (2014): The Multiphase Capabilities of the CFD Toolbox OpenFOAM for Hydraulic Engineering Applications. In: Proceedings of the 11th International Conference on Hydroscience & Engineering, 28. September -02 .Oktober 2014, Hamburg.
- Schulze, L., Thorenz, C. (2015): Mehrphasenmodellierung im Wasserbau. In: BAWKolloquium Tagungsband „Wasserbauwerke – Vom hydraulischen Entwurf bis zum Betrieb“, 20. - 21. Mai 2015, Karlsruhe.
- Schulze, L., Thorenz C., Stamm, J. (2014): Entwicklung eines numerischen Ansatzes für die Modellierung von Luftenrag und-transport in einem Schleusenfüllsystem. In Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen „Simulationsverfahren und Modell für Wasserbau und Wasserwirtschaft“, Heft 50, Dresden, 2014. ISBN 978-3-86780-349-6

Strybny, J., Thorenz, C., Steinmill, K., Schulze, L., Hess, M. (2012): On the numerical modelling of ship-waterway-interactions in canals. In: Proceedings, 10th International Conference on Hydroinformatics (HIC), 14. -18. Juli 2012, Hamburg.

Thorenz, C., Belzner, F., Hartung, T., Schulze, L. (2017): Numerische Simulation von Schleusenfüllprozessen Kapitel 7, Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAWMitteilungen Nr. 100).

Thorenz C., Strybny J. (2012): On the numerical modelling of filling-emptying systems for locks. In: 10th International Conference on Hydroinformatics 2012.

Zheng L., Yapa P.D. (2000). Buoyant velocity of spherical and nonspherical bubbles/droplets. In: Journal of Hydraulic Engineering 126(11), 852-855.



Kußmaulstraße 17 · 76187 Karlsruhe
Tel. +49 (0) 721 97 26-0 · Fax +49 (0) 721 97 26-45 40

Wedeler Landstraße 157 · 22559 Hamburg
Tel. +49 (0) 40 81 908-0 · Fax +49 (0) 40 81 908-373

www.baw.de