

Mathematische Modellierung der hydrodynamischen Belastung von Deichen

Cordula Berkenbrink, Ralf Kaiser, Hanz Dieter Niemeyer

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Forschungsstelle Küste, Norderney
Email: cordula.berkenbrink@nlwkn-ny.niedersachsen.de

EINLEITUNG

Im Rahmen des vom BMBF finanzierten KFKI-Forschungsprojekts INTBEM („Integrierte Bemessung von See- und Ästuardeichen“; 03 KIS 061 und 03 KIS 062) wurden im Teilprojekt INTBEM B - 03 KIS 062 die hydrodynamischen Belastungen von Deichen mit dem mathematischen Modell OTT-1D berechnet. Das Modell ist in der Lage den Wellenauflauf und -überlauf sowie die Auf- und Rücklaufgeschwindigkeiten auf der Deichaußenböschung und die mittleren Schichtdicken des Überlaufs auf der Deichkrone zu quantifizieren. Um die Naturähnlichkeit des Modells nachzuweisen wurden mit Hilfe verschiedener Wellenkanaldaten umfangreiche Untersuchungen zur Modellierung einfacher und komplexer Geometrien durchgeführt und Ergebnissen aus empirischen Berechnungen gegenübergestellt.

MATHEMATISCHE MODELLIERUNG

Die Modellierung der hydrodynamischen Belastung wurde mit dem mathematischen Modell OTT-1D von HR Wallingford vorgenommen (Dodd, 1998 und Dodd et al., 1998). Es ist in der Lage die vollständige Überströmung eines Bauwerkes zu simulieren. Dies liegt im Wesentlichen an der Fähigkeit, mehrere voneinander getrennte Wassermassen (Auflaufzunge, überströmendes Wasser, Wasserkörper in Lee) rechentechnisch zu behandeln. Die physikalische Grundlage des Modells bilden die Flachwassergleichungen, sie werden im Küsteningenieurwesen schon länger zur Berechnung von horizontalen Meeresströmungen verwendet. Der Vorteil dieser Gleichungen liegt in ihrer rechentechnisch unkomplizierten Anwendung mit standardisierten, stabilen, schnell zu lösenden numerischen Schemata. Bei OTT-1D handelt es sich um ein phasenauflösendes Modell, das die Flachwassergleichungen über die Finite Volumen Methoden explizit löst. Es liefert ein Abbild des Wellenfeldes. Die seegangsbedingte sich transformierende Gestalt wird hochgradig zeit- und ortsauflösend beschrieben.

Im Rahmen der Untersuchungen wurde das Modell dahingehend verändert, dass es stabil auf große Modellmaßstäbe bzw. auf den Naturmaßstab anwendbar ist. Weiterhin können mit einer modifizierten Version die hydrodynamischen Belastungen auch auf der Deichbinnenböschung ermittelt werden und beliebig unterschiedliche Rauigkeitsabschnitte können im Modell implementiert werden. Diese Modifikationen schaffen die Voraussetzung für eine allgemeine Anwendbarkeit des mathematischen Modells auf Deiche und Deckwerke in naturähnlicher Form.

Zur Verifikation des Modells standen eine Reihe von Wellenkanaldaten vom Leichtweiss-Institut in Braunschweig und vom Großen Wellenkanal in Hannover zur Verfügung. Diese beinhalteten sowohl einfache Deichgeometrien als auch komplexe Deckwerke wie die von Baltrum und Norderney. Außerdem wurden Naturmessungen aus Petten in den Niederlanden zur Analyse herangezogen (Berkenbrink et al. 2008).

Ergebnisse

1. Mit dem mathematischen Modell OTT-1D können effizient und stabil die hydrodynamischen Belastungen von Deich- und Deckwerksböschungen modelliert werden. Sowohl einfache als auch komplexe Geometrien werden von dem Modell gut erfasst. Bei einem Vergleich mit den Messwerten weisen die Ergebnisse eine geringe Streuung und eine gute Übereinstimmung auf.
2. Im Rahmen des KFKI-Forschungsvorhabens „Wellenüberlaufbelastung von Deichbinnenböschungen“ wurden detaillierte großmaßstäbliche Untersuchungen zu Wellenauf-, -ab- und -überlauf durchgeführt. Diese Datensätze wurden genutzt um das Modell in Bezug auf die Schichtdicken, die Geschwindigkeiten und den Wellenüberlauf an einer einfachen Deichgeometrie zu verifizieren. Die Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Daten ist bei allen hydrodynamischen Größen sehr gut. Zur Sensitivitätsstudie wurden kleinmaßstäbliche Versuche zur Untersuchung der Streuung mittlerer Wellenüberlaufdaten bei hydraulischen Modellversuchen aus Hannover hinzugezogen (Kanis 2008).

3. Zur Verifikation komplexer Geometrien standen klein- und großmaßstäbliche Datensätze aus den Untersuchungen zum Norderneyer und Baltrumer Deckwerk zur Verfügung. Mit diesen Datensätzen wurde nachgewiesen, dass das Modell auch bei komplexen Geometrien den Wellenüberlauf zuverlässig bestimmen kann.
4. Sämtliche Berechnungsergebnisse wurden mit Ergebnissen von diversen empirischen Formeln verglichen. Dazu wurden zum einen die auf den physikalischen Modellversuchen basierenden Gleichungen benutzt und zum anderen die allgemeinen Gleichungen des EurOtop Manuals (2007). Mit Ausnahme einer speziellen nicht übertragbaren empirischen Anpassungsfunktion ist die Abweichung und Streuung der modellierten Ergebnisse geringer als bei den Ergebnissen aus den empirischen Gleichungen.
5. Die Validierung des Modells an Hand aller Datensätze hat gezeigt, dass OTT-1D allgemeingültig anwendbar ist. Es ist eine Kalibrierungsgleichung entwickelt worden, die für alle Datensätze gültig ist. Mit der modifizierten Modellversion kann zusammen mit der Kalibrierungsgleichung der Wellenüberlauf bei beliebigen Profilen naturähnlich ermitteln.

Literatur

- Dodd, N., 1998. Numerical model of wave run-up, overtopping and generation. ASCE J. Water-Ways, Port, Coastal and Ocean Eng. Div., Vol. 124, Ww2
- Dodd, N., Giarrusso, C.C., Nakamura, S., 1998. ANEMONE: OTT-1d – A User Manual – Report TR 50 – HR Wallingford
- Kanis, J., 2008: Über die Streuung von mittleren Überlaufmengen in hydraulischen Modellversuchen von Seedeichen, Diplomarbeit am Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Hannover
- EurOtop Manual 2007. Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual
- Schüttrumpf, H., 2001. Wellenüberlaufströmung bei Seedeichen – Experimentelle und theoretische Untersuchungen – Dissertation am Leichtweiss-Institut für Wasserbau, Braunschweig

Bisherige Veröffentlichungen zum Projekt

- Witting, M. & Niemeyer, H.D. 2006. Mathematische Modellierung von Wellenauf- und -überlauf. Die Küste, H. 71. Boyens, Heide
- Statusbericht 2007. Integrierte Bemessung von See- und Ästuardeichen. Essen, Norderney
- Statusbericht 2008. Integrierte Bemessung von See- und Ästuardeichen. Essen, Norderney
- Berkenbrink, C., Kaiser, R., Niemeyer, H. D. 2008. Prototype Overtopping Measurements and Model Verification. Proc 31st Int. Conf. on Coastal Eng., 3009-3019, Hamburg.