

## **ConDyke (03KIS108-109) - Untersuchung der physikalischen Wellentransformationsprozesse an konkaven und konvexen Deichlängsprofilen**

Malte Schilling<sup>1</sup>, Mahmoud M. Rabah<sup>1</sup>, Sven Liebisch<sup>1</sup>, Torsten Schlurmann<sup>1</sup>,  
Babette Scheres<sup>2</sup>, Suba Subramaniam<sup>2</sup> und Holger Schüttrumpf<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ludwig-Franzius-Institut, Leibniz Universität Hannover. [schilling@lufi.uni-hannover.de](mailto:schilling@lufi.uni-hannover.de)

<sup>2</sup>Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen University

### **EINLEITUNG**

Im EurOtop Manual (2016), dem gültigen Bemessungsansatz für Küstenschutzbauwerke, werden Wellenauf- und -überlauf an bzw. entlang der Deichlängsachse auch unter schrägem Wellenangriff als gleichverteilt beschrieben. Bei gekrümmten Deichlängsachsen greifen Wellen allerdings mit unterschiedlichen Angriffswinkeln  $\beta_i$  (Abb. 1) an, sodass aufgrund wechselwirkender Prozesse und Transformationen lokal sehr heterogene Verteilungen der Wellenauf- und -überlauf beobachtet werden. Hinweise darauf wurden bereits im Hydralab IV Projekt CornerDike beschrieben (Bornschein et al., 2014). Bei physikalischen Modellversuchen an einem konvexen Deich wurden Überlaufereignisse an der Krümmung beobachtet, ohne dass diese an der geradlinig ausgerichteten Deichflanke auftraten. Diese bislang erzielten Erkenntnisse basieren auf qualitativen Beobachtungen ohne belastbare Messdaten und ohne Beschreibung von Abhängigkeiten oder Wirkungsweisen, da keine Überlaufmessungen hinter der Krümmung stattfanden. Des Weiteren wurde ein Einfluss der Krümmung auf die geradlinig ausgerichtete Deichflanke festgestellt (Bornschein et al., 2014). Während physikalischer Untersuchungen an einer Ufermauer mit einer konkaven Ecke in der Bauwerkslängsachse und geneigtem Vorstrand wurden an der Ecke geringere Überlauf an gemessen als an dem geraden Teil des Modells (Napp et al., 2003).

Ziel des BMBF-KFKI-Forschungsvorhabens ConDyke ist es, den Einfluss konkaver und konvexer Krümmungen der Deichlängsachse anhand von belastbaren Messungen systematisch zu untersuchen und die beobachteten physikalischen Prozesse ganzheitlich quantitativ zu beschreiben. Hierfür werden am Ludwig-Franzius-Institut für Wasserbau, Ästuar- und Küsteningenieurwesen (LuFI) an der Leibniz Universität Hannover physikalische Modellversuche im Wellenbecken und am Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft (IWW) der RWTH Aachen University numerische Simulationen durchgeführt. Erste wesentliche Erkenntnisse der Funktion und Wirkung von konvexen Deichlinien sind in Abb. 1 skizziert. Vereinfachend dargestellt wird der auf der Deichkrümmung entstehende, konzentrierte Wellenauflauf in Richtung der Deichflanke(n) abgelenkt, sodass nach Interaktion und Überlagerung der umgelenkten Welle mit den originär schräg einlaufenden Wellen schwallartige Wellenwalzen auf der Deichflanke entstehen, die sich parallel zu dieser ausbreiten.

### **PHYSIKALISCHE MODELLVERSUCHE**

Im Rahmen des Teilprojekts 1 wird im Wellenbecken des LuFI ein Modelldeich mit variablem Öffnungswinkel untersucht. Dieser wird mit regelmäßigen Wellen und mit langkämmigen Wellenspektren unter unterschiedlichen Angriffswinkeln  $\beta$  belastet und u. a. der Wellenauflauf und -überlauf an mehreren Positionen entlang der Deichlinie gemessen. Anhand der Wellenauflaufversuche mit regelmäßigen Wellen wird die Vergleichbarkeit mit den numerischen Untersuchungen hergestellt.

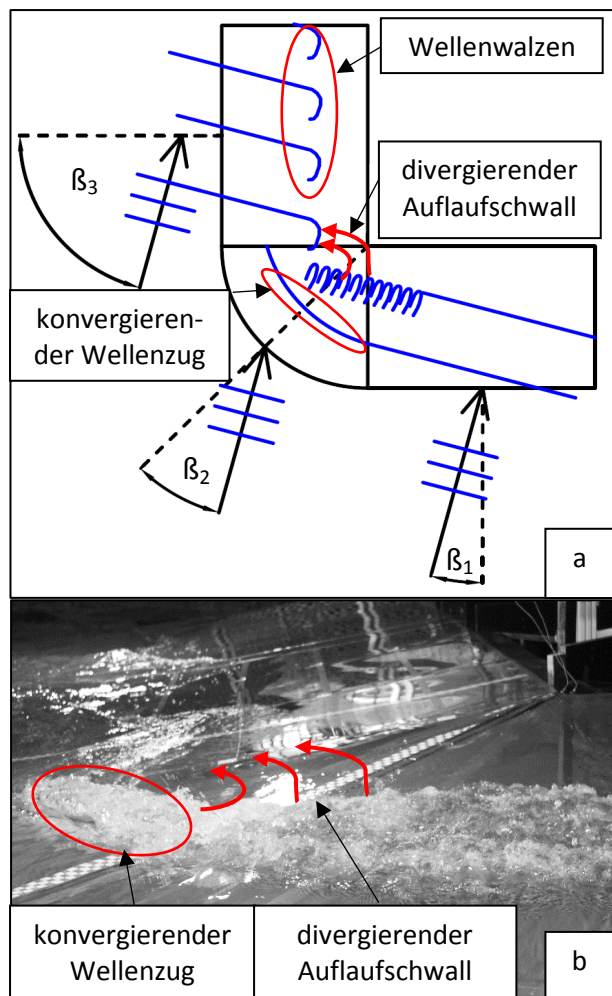


Abb. 1: (a) Definition des Angriffswinkels  $\beta$  und schematische Darstellung der Wellendynamik (b) Modellversuche an einem Deich mit  $270^\circ$  Öffnungswinkel ( $H=0,10$  m,  $T=1,46$  s,  $\beta_2=30^\circ$ , monochromatisch).

## NUMERISCHE SIMULATIONEN

Teilprojekt 2 beschäftigt sich mit der numerischen Simulation des Wellenaufbaus an gekrümmten Deichlinien. Untersucht werden dabei regelmäßige Wellen mithilfe der CFD-Software OpenFOAM und DualSPHysics. Die numerischen Modelle werden anhand der für regelmäßige Wellen entwickelten Formel von Hunt (1959) und der in Teilprojekt 1 durchgeführten Laborversuche kalibriert und validiert, um schließlich die heterogen verteilten Auflaufhöhen sowie physikalische Prozesse an der Deichkrümmung detailliert numerisch zu untersuchen.

## ERGEBNISSE

Beobachtete Wellentransformationsprozesse aus den numerischen Simulationen und physikalischen Modellversuchen werden qualitativ beschrieben und erste Schlüsse daraus gezogen. An konvexen Krümmungen der Deichlängsachse unterliegen ein- und auflaufende Wellenzüge Prozessen der Refraktion und des Shoalings, sodass der Wellenangriff in Richtung des Scheitelpunkts der Krümmung konvergiert und sich die Wellenzüge zeitgleich in geringeren Wassertiefen transformieren. Dieses Phänomen verändert lokal das Brechverhalten der Wellen infolge der Energiekonzentration aufgrund von Refraktion und der Aufteilung der Wellenzüge. Die physikalischen Modellversuche belegen eine erhöhte Überlaufhöhe im Scheitelpunkt der Krümmung in Relation zu einem geradlinigen Deich bei Untersuchungen mit langkämmigen TMA-Spektren bei einem Angriffswinkel von  $\beta_2=0^\circ$  und einer Steilheit von 0,03. Dieses Messergebnis stimmt mit den Beobachtungen des CornerDike-Projekts überein. In der oberen Auf- und Überlaufzone des gekrümmten Deichabschnitts divergiert der Auflaufschwall seitlich in

Richtung der benachbarten Deichflanke(n). Dieser umgeleitete Schwall interagiert schließlich mit dem Auflauf an der Deichflanke, sodass dadurch schwallartige Wellenwalzen entstehen, die sich parallel auf der Deichflanke ausbreiten. Dabei kommt es zu Überlagerungen mit den originär schräg auflaufenden Wellen auf der Deichflanke und somit zu lokalen, regelmäßigen Superpositionen mit bislang in der Literatur nicht beschriebenem, erhöhtem Wellenaufbau. Diese Wellenüberlagerungen könnten in einer Analogie zum Mach-Stem Effekt (Daemrich et al., 1983) stehen, der zudem vom Abstand des Scheitelpunkts der Krümmung abhängig ist. Bei schrägem Wellenangriff ( $\beta_2 > 30^\circ$ ) ist der Einfluss der Krümmung auf die Deichflanke stark ausgeprägt (Abb. 1). Die physikalischen Untersuchungen des konkaven Deichs sind für den Projektfortschrittsbericht zur KFKI-Statustagung abgeschlossen. Die Auswertung der Messdaten ist momentan in Arbeit, sodass erste quantitative Ergebnisse in den nächsten Wochen folgen werden.

#### AUSBLICK

Es werden quantitative Ergebnisse ausgewertet, die die beschriebenen physikalischen Wellenprozesse belastbar belegen. Anhand der erhobenen Daten wird die Anwendbarkeit des Korrekturfaktors für schrägen Wellenangriff  $\gamma_\beta$  an gekrümmten Deichen untersucht. Bei Bedarf soll eine Erweiterung dieses Parameters formuliert werden, sodass dieser bei variablen Öffnungswinkeln und -radien seine Gültigkeit behält. Für ein tieferes physikalisches Prozessverständnis wird die Wellendynamik auf dem Deich mithilfe von Pegeldaten und Videoaufzeichnungen sowie der numerischen Simulationen eingehend untersucht, beschrieben und analysiert. Dies dient dazu, relevante Wellentransformationsprozesse und Wechselwirkungen zu identifizieren mit dem Ziel der verfeinerten Auslegung von gekrümmten Deichlängsachsen in der Praxis.

#### DANKSAGUNG

Die Autoren bedanken sich für die Förderung des KFKI-Forschungsvorhabens ConDyke (FKZ: 03KIS0108, 03KIS0109) durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) durch den Projektträger Jülich (PTJ).

#### LITERATUR

Bornschein, A., Pohl, R., Scheres, B., Wolf, V. & Spano, M. (2014). CornerDike Final Report: Effect of very oblique waves on wave run-up and wave overtopping. HYDRALAB IV, Dresden.

Daemrich, K.-F., Kohlhase, S., Partenscky, H.-W. (1983). Investigation of Mach-Reflection Including Breaking and Irregular Waves, Proc. Int. Conf. on Coastal and Port Engineering. in Developing Countries, Colombo, Sri Lanka.

EurOtop (2016). Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. [www.overtopping-manual.com](http://www.overtopping-manual.com).

Hunt, I. A. (1959). Design of Seawalls and Breakwaters. Journal of the Waterways and Harbors Division, Vol. 85, pp. 123-152.

Napp, N., Pearson, J., Richardson, S., Bruce, T., Allsop, W., & Pullen, T. (2003). Overtopping of Seawalls under Oblique and 3-D Wave Conditions. In J. M. Smith (Ed.), Proceedings of the 28th International Conference, Cardiff, Wales, pp. 2178-2190.