

Schlussbericht

ConDyke - Der Einfluss von konkaven und konvexen Deichlängsprofilen auf den Wellenauf- und Wellenüberlauf

Projektlaufzeit 06/2015 bis 05/2018

Förderkennzeichen 03KIS108



Babette Scheres, M.Sc. RWTH
Suba Periyal Subramaniam, M.Sc.
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor

Schlussbericht

ConDyke - Der Einfluss von konkaven und konvexen Deichlängsprofilen auf den Wellenauf-
und Wellenüberlauf

Babette Scheres, M.Sc. RWTH

Suba Periyal Subramaniam, M.Sc.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf

Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

RWTH Aachen University

Mies-van-der-Rohe-Str. 17

D-52056 Aachen

Aachen, im November 2018

Inhalt

1	Aufgabenstellung.....	1
2	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	2
3	Methodik und Ergebnisse.....	3
3.1	Experimentelle Untersuchungen (LuFI)	4
3.2	Numerische Simulationen (IWW).....	4
3.3	Zusammenführung der Ergebnisse.....	4
4	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen	5

1 Aufgabenstellung

Deiche und Deckwerke werden bei extremen Wasserständen durch Wellen beansprucht. Aufgrund dieser Wellenbeanspruchung kommt es zum Wellenauflauf und ggf. Wellenüberlauf. Schädigende Einwirkungen können dabei hervorgerufen werden und unter Umständen sogar zum Versagen des Küstenschutzbauwerks führen. Sowohl der maßgebende Wellenauflauf wie auch der resultierende Wellenüberlauf stellen wichtige Parameter bei der Deichbemessung – insbesondere bei der Festlegung der Deichkronenhöhe – dar.

In der Vergangenheit hat es eine Vielzahl von Untersuchungen auf experimenteller und numerischer Grundlage zur Bestimmung des Wellenaufbaus und Wellenüberlaufs an Deichen und anderen Küstenschutzbauwerken gegeben. Der derzeitige Wissenstand ist umfassend im EurOtop-Manual (2016)¹ dargestellt, das vom KFKI gefördert wurde.

Aufgrund der bislang verfügbaren experimentellen Möglichkeiten fand ein Großteil der Untersuchungen zur Wellenbelastung von Deichen und Deckwerken in Wellenkanälen mit normal zur Deichlinie angreifenden Wellen statt. Experimentelle Untersuchungen in Wellenbecken sind nach wie vor aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit eine Ausnahme und hatten insbesondere den Einfluss der Wellenangriffsrichtung, der küstenparallelen Strömung oder des Windes auf den Wellenauf- und Wellenüberlauf zum Ziel.

Aufgrund fehlender experimenteller und numerischer Untersuchungen können bislang nur Annahmen zum Einfluss von Krümmungen auf die Wellenbelastung gekrümmter Deiche getroffen werden. Aus Untersuchungen und der Bemessung geschütteter Wellenbrecher ist hingegen bekannt, dass die Belastung des Wellenbrecherkopfes aufgrund lokal einwirkender Über- und Ausspülungs- sowie Refraktionseffekte, resultierend aus dem zum Wellenbrecherkopf schrägen Wellenangriff, deutlich höher ist (bis Faktor 2) als die Belastung der normal beanspruchten Wellenbrecherflanke^{2,3}. Übertragen auf konvex gekrümmte See- und Ästuardeiche kann in einer ersten Abschätzung geschlossen werden, dass an konvexen Krümmungen (Krümmung zur Seeseite) die Wellenbelastung höher als an geraden Deichabschnitten ist. Bei konkav gekrümmten Deichabschnitten (Krümmung zur Binnenseite) müsste die Wellenbelastung mit dieser vereinfachten Modellvorstellung somit niedriger sein.

Ziel des ConDyke-Forschungsvorhabens war es, Erkenntnisse des Einflusses von Krümmungen in der Deichlängsachse auf die Wellenaufbauhöhen und Wellenüberlaufmengen zu be-

¹ EurOtop (2016). Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application. Van der Meer, J. W. Allsop, N. W. H.; Bruce, T.; De Rouck, J.; Kortenhaus, A.; Pullen, T.; Schüttrumpf, H.; Troch, P. and Zanuttigh, B., www.overtopping-manual.com

² Vidal, C.; Losada, M. A.; Medina, R. (1991): Stability of Mound Breakwater's Head and Trunk, *Jour. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng.*, ASCE, Vol. 117, No. 6

³ Hegemann, C.; Goseberg, N.; Schlurmann, T. (2011): Untersuchungen zum Einsatz von Küstenschutzelementen mit Eisensilikat-Granulat aus Betonzuschlag im Küsten- und Hochwasserschutz, Phase 2 – Wellenbrecherkopf, Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Leibniz Universität Hannover, Bericht 717

stimmen und daraus bemessungsrelevante Rückschlüsse zur Verbesserung der Dimensionierung und konstruktiven Ausbildung von Deichkrümmungen zu erzielen. Hierbei ist zwischen konvexen und konkaven Krümmungen in der Deichlinie zu unterscheiden.

2 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das ConDyke-Projekt wurde als BMBF-KFKI-Forschungsvorhaben beantragt und durchgeführt. Die Förderung erfolgte somit durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), eine fachliche Begleitung des Projektes fand durch das Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI) statt. Die beteiligten Institutionen sind in der nachfolgenden Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Beteiligte Institutionen

 <p>Ludwig-Franzius-Institut für Wasserbau, Ästuar- und Küsteningenieurwesen</p>  <p>Leibniz Universität Hannover</p>	<p>Ludwig-Franzius-Institut für Wasserbau, Ästuar- und Küsteningenieurwesen (LuFI) Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover Prof. Dr.-Ing. habil. Torsten Schlurmann</p>
 	<p>Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft (IWW) RWTH Aachen University Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf</p>

Das ConDyke-Projekt ist in drei Arbeitspakete unterteilt, deren enge Wechselbeziehungen im nachfolgenden Organigramm dargestellt sind.

Teilprojekt 1 (LuFI) befasste sich mit der physikalischen Modellierung des Wellenauf- und -überlaufs an gekrümmten Deichlinien. Beginnend mit Vorstudien, der Konzeption, Konstruktion und dem Aufbau des Modelldeichs wurden nach der Durchführung eines Vorversuchsprogramms und der Kalibrierung der Messtechnik in Modellversuchen in einem 3D-Wellenbecken Seegangs- und Bauwerksparameter systematisch variiert. Die Messdaten wurden nach einem Post-Processing analysiert und interpretiert.

Teilprojekt 2 (IWW) befasste sich parallel mit dem Aufbau eines numerischen Modells zur Simulation des Wellenaufbaus an gekrümmten Deichlinien mit dem Ziel, die Messdatengrundlage und Parameterstudie der physikalischen Modellierung zu erweitern. Nach einer Vorstudie sowie Konzeption und Aufbau des numerischen Modells erfolgte eine Kalibrierung und Validierung anhand der physikalischen Modellversuche. Ergebnisse der numerischen Berechnungen mit systematisch variierten Seegangs- und Bauwerksparametern zum Wellenaufbau an konvexen und konkaven Deichlinien wurden anschließend post-prozessiert, analysiert und interpretiert.

In Teilprojekt 3 (LuFI und IWW) wurden theoretische Arbeiten, eine Literaturstudie sowie Zwischen- und Abschlussberichte zu den Schwerpunktthemen der Teilprojekte 1 und 2 erarbeitet.

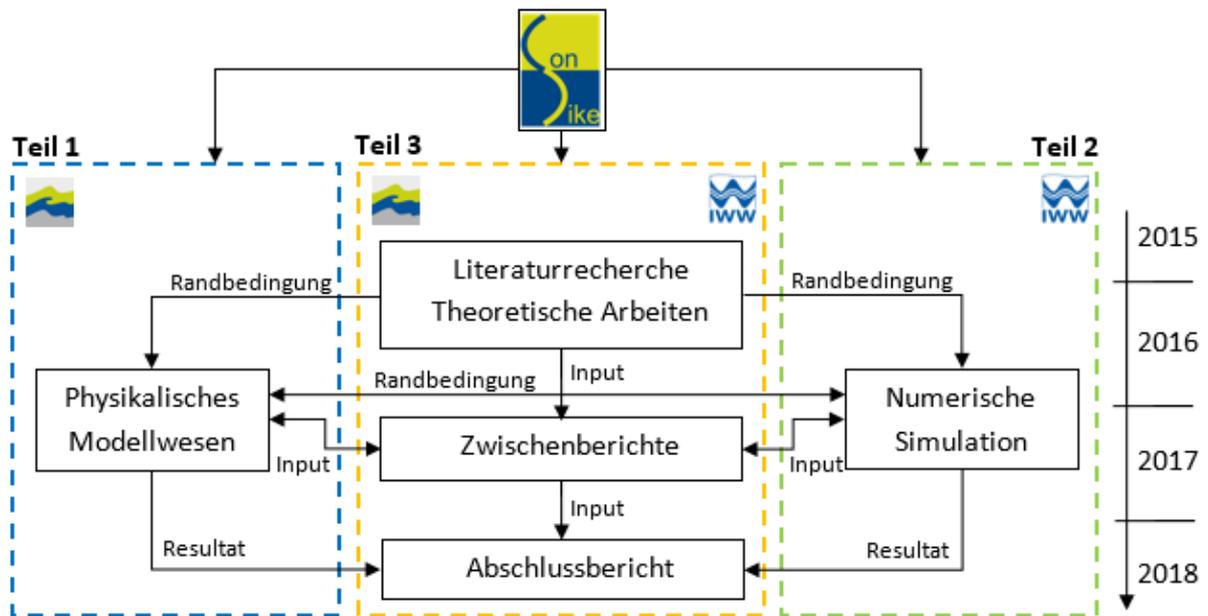


Abbildung 1: Projektstruktur

3 Methodik und Ergebnisse

Deiche stellen eines der wichtigen Elemente des Küstenschutzes in Deutschland dar. Dabei ist die konstruktive und funktionale Bemessung von Deichen maßgebend für den zuverlässigen Überflutungsschutz der im Hinterland lebenden Menschen und vorhandenen Schutzgüter. Um risikoreiche Unterbemessungen oder unwirtschaftliche Überbemessungen von Deichen zu vermeiden, ist die Kenntnis der vorherrschenden Belastungen und hydrodynamischen Prozesse von größter Relevanz.

Deiche werden als Erdbauwerke mit seeseitiger und landseitiger Böschung konstruiert. Der Querschnitt und die Linienführung sind dabei von den örtlichen Randbedingungen, z. B. den Platzverhältnissen, abhängig. Infolge von Anpassungen der Deichlinie an den natürlichen Küstenlinienverlauf sind oftmals Krümmungen in der Deichlängsachse zu finden. Krümmungen zur Seeseite werden als konvex definiert, Krümmungen zur Landseite als konkav. Infolge zusätzlicher oder verstärkter hydrodynamischer Prozesse an Deichkrümmungen, z. B. Wellenrefraktion und Wellen-Wellen-Interaktion, sind im Vergleich zu geraden Deichlinien veränderte Wellenaufbauhöhen und -überlaufweiten zu erwarten. Wissenschaftliche fundierte Aussagen zum Einfluss von Krümmungen auf den Wellenaufbau und -überlauf an Deichen existierten zu Beginn des ConDyke-Projektes nicht. Im Rahmen des Verbundprojektes ConDyke sollten daher Erkenntnisse zum Einfluss von konvexen und konkaven Krümmungen in der Deichlängsachse auf den Wellenaufbau und -überlauf für eine optimierte Deichdimensionierung mithilfe der Kopplung physikalischer und numerischer Methoden erlangt werden.

Im Folgenden werden die experimentellen Untersuchungen und numerischen Simulationen sowie deren Ergebnisse kurz zusammengefasst.

3.1 Experimentelle Untersuchungen (LuFI)

Die physikalischen Modellversuche wurden in dem Wellenbecken des Ludwig-Franzius-Instituts untersucht, um ein 3-dimensionales Deichmodell mit Wellen aus variabler Richtung zu belasten. Ziel war zum einen der Vergleich zu bereits veröffentlichten Modellversuchen von geraden Deichen als Referenz und zum anderen darauf aufbauend eine Untersuchung von Deichen mit variablem Öffnungswinkel.

Hierfür wurde ein 1:6 geneigtes Deichmodell aus Aluminiumrahmen und PVC-Platten erbaut, das mit einer horizontalen Deichkrone aus Holz versehen wurde. Durch die modulare Bauweise konnte der Öffnungswinkel in 30°-Schritten variiert werden, wobei jeweils zwei konkave (90°, 120°) und konvexe (240°, 270°) Konfigurationen Gegenstand der Untersuchung waren. Die Hauptmessgrößen waren der Auf- und Überlauf, die mit einem Auflaufpegel und Überlaufbehältern bestimmt wurden. Unter Variation von Wellen- (Wellenhöhe, -periode und -richtung) und Bauwerksparametern (Öffnungswinkel) wurden diese Messgrößen mit Referenzwerten eines geraden Deichs (180°) verglichen. Ergebnis dieses Vergleichs ist ein Einflussfaktor, der den Einfluss der Krümmung unter unterschiedlichen Randbedingungen angibt.

3.2 Numerische Simulationen (IWW)

Parallel zu den experimentellen Untersuchungen wurden numerische Simulationen zum Wellenauflauf an gekrümmten Deichlinien durchgeführt, um zusätzliche Parameter zu untersuchen (hier: weitere Bauwerksgeometrien) und die hydrodynamischen Prozesse in einer störungsfreien Umgebung detailliert zu analysieren. Für die numerischen Simulationen wurden die OpenSource Software OpenFOAM und DualSPHysics genutzt. Beide Numerik-Tools ermöglichen die phasenaufgelöste Simulation von Wellen, deren Transformationsprozesse (z. B. Wellenbrechen, -refraktion, -diffraktion) und Wellen-Bauwerks-Interaktionen.

Vor der eigentlichen Simulation des Wellenaufbaus an gekrümmten Deichlinien wurde das dazu erforderliche Numerik-Modell aufgebaut, anhand von Ergebnissen früherer Untersuchungen an geraden Deichen kalibriert und schließlich anhand der experimentellen Untersuchungen des ConDyke-Projektes validiert. Endprodukt stellt ein 3-dimensionales numerisches Modell dar, das schließlich zur Untersuchung des Einflusses von Krümmungen in der Deichlinie auf den Wellenaufbau genutzt wurde.

Die numerische Analyse des Einflusses von Krümmungen auf den Wellenaufbau basiert auf einer Parameterstudie mit verschiedenen Seegangparametern, d.h. Variation der Wellenhöhe, der Wellenperiode und des Wellenangriffswinkels, und verschiedenen Bauwerksgeometrien: 3 konkave Deichlinien (90°, 120°, 150°) und 3 konvexe Deichlinien (210°, 240°, 270°) sowie die gerade Deichlinie (180°) als Referenz. Es wurde jeweils die Wellenaufbauhöhe in der Mitte der Deichkrümmung ausgewertet und im Gesamtzusammenhang der Parameterstudie analysiert.

3.3 Zusammenführung der Ergebnisse

Ergebnisse der Untersuchungen von konvexen und konkaven Deichen werden in diesem Abschnitt getrennt betrachtet.

Ergebnisse von numerischen und physikalischen Modellversuchen von konvexen Deichen haben ergeben, dass Auf- sowie Überlauf an der Krümmung durch Refraktion konzentriert und somit erhöht werden. Wellen-Wellen-Interaktion spielt dabei eine wichtige Rolle, sodass Ergebnisse mit unregelmäßigen Wellen abweichende Ergebnisse liefern können. Außerdem führt die Wellen-Wellen-Interaktion am Rand der Krümmung zu unregelmäßigem Auflauf entlang der geraden Deichflanken mit lokalen Maxima und Minima.

An konkaven Deichen ist neben der Refraktion zusätzlich Reflexion ein dominanter beeinflussender Wellenprozess. Konkave Deiche bilden eine „Bucht“, innerhalb dieser einfallende sowie reflektierte Wellen und der laterale Auflaufschwall von den Flanken an der Krümmung interagieren und sich zu einem multi-direktionalen Seegang entwickeln. Dies bedeutet, dass selbst regelmäßiger Seegang zu unregelmäßigem Auflauf führt. Dies führt zu einer heterogenen Verteilung des Auf- und Überlaufs innerhalb der konkaven Krümmung, die örtlich und zeitlich variabel ist, je nach Angriffswinkel und Öffnungswinkel des Deichs.

4 Erfolge und geplante Veröffentlichungen

Veröffentlichungen in Fachzeitschriften

Schilling, M.; Liebisch, S.; Schlurmann, T.; Scheres, B.; Subramaniam, S. P.; Schüttrumpf, H. (in Bearbeitung): ConDyke - The influence of concave and convex curves in the dike line on wave run-up and wave overtopping: In: Die Küste

Schilling, M.; Rabah, M. M.; Liebisch, S.; Schlurmann, T.; Scheres, B.; Subramaniam, S. S.; Schüttrumpf, H. (2018): ConDyke (03KIS108-109) – Untersuchung der physikalischen Wellentransformationsprozesse an konkaven und konvexen Deichlängsprofilen. In: KFKI aktuell (im Druck).

Kerpen, N. B.; Schlurmann, T.; Scheres, B.; Schüttrumpf, H. (2016): ConDyke (03KIS0108-109) – Der Einfluss von konkaven und konvexen Deichlängsprofilen auf den Wellenauf- und Wellenüberlauf. In: KFKI aktuell 01/2015.

Vorstellung auf Konferenzen

Paper

Scheres, B.; Schilling, M.; Rabah, M. M.; Liebisch, S.; Kerpen, N.; Schlurmann, T.; Schüttrumpf, H. (2017): Hybride Modellierung des Wellenaufbaus und -überlaufs an konkav und konvex gekrümmten Deichlinien. In: Tagungsband zum HTG-Kongress 2017 in Duisburg. Hafentechnische Gesellschaft e. V., S. 132-140.

Subramaniam, S.; Altomare, C.; Schüttrumpf, H. (2017): Spatial aspects of wave run-up and wave overtopping on a curved dike. In: SCACR2017.

Abstracts

Subramaniam, S. P.; Scheres, B.; Schüttrumpf, H. (2018): Numerical investigation of wave run-up on curved dikes. ICOE 2019: 5th International Conference on Ocean Engineering. (eingereicht)

Dissertationen

Subramaniam, S. P. (in Bearbeitung): Numerical investigations on the influence of a curvature in a coastal dike line. Dissertation, RWTH Aachen University, Aachen, Germany.