

Wellenaufbau auf rauen, porösen und durchlässigen Deckwerken (WARP-2)

Sachbericht nach BNBest-BMBF 98

Projektlaufzeit 09/2018 bis 08/2020

Förderkennzeichen 03KIS120

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Dr.-Ing. Moritz Kreyenschulte

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

Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

RWTH Aachen University

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03KIS120 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhalt

1	Kurze Darstellung	1
1.1	Aufgabenstellung	1
1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	1
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	1
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	2
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	2
2	Eingehende Darstellung	3
2.1	Verwendung der Zuwendungen und erzielttes Ergebnis im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	3
2.2	Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	4
2.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	4
2.4	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	4
2.5	Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	5
2.6	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6	5

1 Kurze Darstellung

1.1 Aufgabenstellung

Die Wellenaufbauhöhe ist einer der wichtigsten Parameter zur Bemessung von Deichen und Deckwerken. Sie wird zur Abschätzung der Anzahl überlaufender Wellen und der Deichkronenhöhe verwendet. Zusammen mit der Wellenrücklaufhöhe definiert sie den Bereich, in dem die größten Belastungen des Deckwerks infolge Wellenbelastung auftreten. Daher ist es wirtschaftlich geboten, die Wellenaufbauhöhe so weit wie möglich zu reduzieren.

Dies geschieht, indem z. B. raue und/oder poröse Deckwerke angeordnet werden, die aufgrund einer erhöhten Energiedissipation die Wellenaufbauhöhe reduzieren. Zur Abschätzung der Wellenaufbauhöhe bei Deckwerken existieren Gleichungen, die allerdings jeweils nur für einen speziellen Deckwerkstyp formuliert wurden und die unterschiedlichen möglichen Einflussfaktoren auf den Wellenaufbau wie Rauheit, Porosität und Durchlässigkeit des Deckwerks nicht explizit berücksichtigen.

Das Forschungsvorhaben „Wellenaufbau auf rauen, porösen und durchlässigen Deckwerken (WARP-2)“ hatte daher das Ziel, die Einflüsse der Deckschichtparameter Rauheit, Porosität und Durchlässigkeit auf den Wellenaufbau zu untersuchen und eine für mehrere Deckwerkstypen gültige Beschreibung des Reduktionsfaktors für Rauheit zu erreichen.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt wurde vom Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft (IWW) der RWTH Aachen University bearbeitet und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und vom Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI) gefördert (Förderkennzeichen 03KIS120). Die Projektlaufzeit betrug zwei Jahre und begann im August 2018.

Das IWW konzentriert sich auf drei Forschungsschwerpunkte (Küste und Hochwasser, Morphodynamik und Sedimente, Energie und Umwelt), die durch die Bearbeitung nationaler und internationaler Forschungsprojekte bedient werden. Dazu gehören Projekte wie: BMBF-Reise, BMBF-HoRisk, BMBF-ZukunftHellig, EU/BMBF-Flowdike, EU-AMICE, DFG-Floodsearch und weitere. Prof. Schüttrumpf arbeitet seit mehr als 20 Jahren u. a. im Bereich des Küsteningenieurwesens.

Die personellen Voraussetzungen des Teilprojekts bestehen aus der Besetzung eines wissenschaftlichen Mitarbeiters (volle Stelle: 12 Monate / Jahr) für den gesamten Projektzeitraum.

Zu den technischen Voraussetzungen, die zur Erreichung der Projektziele notwendig waren, zählen v. A. die Simulationsrechner, auf denen die numerischen Berechnungen durchgeführt wurden.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Projektlaufzeit betrug zwei Jahre und begann im August 2018. In der ersten Phase des Projekts wurde eine Zusammenstellung über Verfahren zur Beschreibung der Einflüsse infolge der Rauheit, Po-

rosität und Durchlässigkeit auf die Wellenaufbauhöhe erstellt. Diese Zusammenstellung wurde im gesamten Projektverlauf fortgeschrieben. Darauf folgte die Auswertung der Wellenaufbauhöhen der Versuche mit regelmäßigen Wellen auf mörtelvergossenen Schüttsteindeckschichten aus dem BMBF-Projekt „Wellenbelastung und Stabilität hydraulisch gebundener Deckwerke (HYGEDE)“ (FKZ 03KIS110 und 03KIS111). Die dort gewonnenen Ergebnisse stellten die Grundlage zur Erstellung des numerischen Modells mit dem Programm DualSPHysics (Crespo et al. 2015) dar. Die im Großen Wellenkanal in Hannover mit einem 3D-Laser aufgenommenen Deckschichtoberflächen wurden in das numerische Modell übertragen und mit dem Modell wurden Berechnungen für Sensitivitätsstudien und zur Untersuchung der im numerischen Modell benötigten Dimensionalität durchgeführt. Die Ergebnisse sind im ersten Zwischenbericht im Projekt WARP-2 (Kreyenschulte und Schüttrumpf 2019) dargestellt.

Es folgte eine weitergehende Auswertung der hydraulischen Versuche mit mörtelvergossenen Schüttsteindeckwerken anhand von Videodaten (Gehrmann 2020). Das 2D-numerische Modell wurde nach einer Konvergenzstudie für raue Deckschichten validiert (Xu 2020). Ein Vergleich verschiedener empirischer Modelle, die unterschiedliche Parameter zur Beschreibung der Deckschichten und der Wellen verwenden, wurde durchgeführt und im zweiten Zwischenbericht im Projekt WARP-2 (Kreyenschulte und Schüttrumpf 2020b) dargestellt.

Eine einheitliche Methodik zur Charakterisierung der Rauheit von Deckschichten wurde erstellt, die die Rauheit aller Deckschichttypen vergleichbar macht. Im validierten numerischen Modell wurden elf idealisierte Deckschichtgeometrien untersucht und schließlich ein Modell zur Berechnung des Reduktionskoeffizienten infolge Rauheit aufgestellt. Die Ergebnisse werden im Schlussbericht bzw. der Veröffentlichung zum Projekt in der Schriftenreihe „Die Küste“ dargestellt (Kreyenschulte et al. 2021).

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Der wissenschaftliche und technische Stand, an den angeknüpft wurde, ist im angehängten Fachbericht, den Zwischenberichten I-II und in den aus dem Projekt hervorgegangenen Veröffentlichungen detailliert dargestellt.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Ein Austausch mit anderen Stellen fand im Rahmen von Konferenzen und Workshops statt, insbesondere dem 4th DualSPHysics User Workshop und der „virtual International Conference on Coastal Engineering (VICCE) 2020“. Aufgrund der kurzen Dauer des Projekts war keine projektbegleitende Gruppe vorgesehen.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendungen und erzielttes Ergebnis im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Projekts zusammengefasst. Eine ausführliche Darstellung kann dem angehängten Fachbericht und den Zwischenberichten I-II entnommen werden.

Arbeitspaket 1: Beschreibung der Rauheit der Deckschichten als geometrische Größe sowie Beschreibung der Porosität und Durchlässigkeit

Für eine vergleichbare und eindeutige Beschreibung der Rauheit von Deckschichten wurde eine Methode entwickelt, bei der die Verteilung der Differenzen der einzelnen die Deckschicht beschreibenden Punkte zu einer mittleren Deckschichtoberfläche verwendet wurde. Diese Verteilung kann dann wiederum durch charakteristische Größen, wie die Standardabweichung der Verteilung oder Quantilwerte der Verteilung beschrieben werden. Die Durchlässigkeit von Deckschichten wurde mit vorhandenen Verfahren zur Berechnung der Durchlässigkeit z. B. aus der Porosität bestimmt. Details können dem angehängten Fachbericht (Kreyenschulte et al. 2021) entnommen werden.

Arbeitspaket 2: Auswertung der Wellenaufbauhöhen von physischen, großmaßstäblichen Modellversuchen getrennt nach den Größen Rauheit, Porosität und Durchlässigkeit

Die Auswertung der im Projekt „Wellenbelastung und Stabilität hydraulisch gebundener Deckwerke (HYGEDE)“ (FKZ 03KIS110 und 03KIS111) durchgeführten hydraulischen Versuche mit regelmäßigen Wellen können Kreyenschulte und Schüttrumpf (2020b) sowie Gehrman (2020) entnommen werden. Dort wird insbesondere der Vergleich der Beschreibung der Wellenaufbauhöhen anhand verschiedener Parameter dargestellt und es werden Unterschiede zwischen der Auswertung der Wellenaufbauhöhen hydraulischer Versuche mit LIDAR-Daten und Videodaten besprochen. Dies ermöglichte eine Diskussion der quer zur Wellenaufbaufrichtung unterschiedlichen Wellenaufbauhöhen auf rauen bzw. rauen, porösen und durchlässigen Deckschichten. Darüber hinaus konnte mit den Ergebnissen eine zusätzliche Validierung der Auswertemethodik und der Ergebnisse der hydraulischen Versuche durchgeführt werden, deren Validität als Referenz zur Erstellung und späteren Validierung des numerischen Modells von besonderer Bedeutung war.

Arbeitspaket 3: Erstellung eines hydrodynamisch-numerischen Modells mit der Methode der Smoothed Particle Hydrodynamics

In Arbeitspaket 3 wurde das hydrodynamisch-numerische Modell erstellt. Mit dem Modell wurden eine Konvergenzstudie sowie Sensitivitätsstudien zu unterschiedlichen numerischen Parametern durchgeführt. Schließlich wurde das Modell anhand der im hydraulischen Modell gemessenen Wellenaufbauhöhen für raue Deckschichten validiert. Die Ergebnisse wurden von Kreyenschulte und Schüttrumpf (2019) sowie von Xu (2020) beschrieben und zusammenfassend in der eingereichten Veröffentlichung in der Schriftenreihe „Die Küste“ (Kreyenschulte et al. 2021) dargestellt.

Arbeitspaket 4: Synthese der Ergebnisse

Mit dem validierten numerischen Modell wurden Berechnungen zur Wellenaufbauhöhe auf idealisierten rauen Deckschichten durchgeführt. Unter Verwendung der in Arbeitspaket 1 entwickelten Methodik zur Beschreibung der Rauheit als geometrischer Größe wurde ein Modell zur Berechnung des Reduktionsfaktors infolge Rauheit aufgestellt. Dieses verwendet neben der Beschreibung der die Rauheit charakterisierenden Verteilung anhand der Standardabweichung und Kurtosis auch die Wellenhöhe als Eingangsparameter. Die Ergebnisse sind detailliert in der geplanten Veröffentlichung in der Schriftenreihe „Die Küste“ (Kreyenschulte et al. 2021) dargestellt.

2.2 Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der zahlenmäßige Nachweis wird separat übermittelt.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Erstellung eines numerischen Modells zur Berechnung der Wellenaufbauhöhe war notwendig, um die Datengrundlage für die Beschreibung des Wellenaufbaus zu erweitern. Damit wurden aufgrund einer einheitlichen Auswertemethodik der hydraulischen Versuche und numerischen Berechnungen anhand von dafür entwickelten Algorithmen vergleichbare Ergebnisse erhalten. Die Synthese der Ergebnisse hätte ohne die in Arbeitspaket 1 entwickelte einheitliche Methodik nicht durchgeführt werden können.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Ergebnisse des Projekts werden in Veröffentlichungen und durch Präsentationen auf Konferenzen verbreitet. Somit wird auch die wirtschaftliche Verwertung der durchgeführten Untersuchungen und deren Ergebnisse sichergestellt. Die Integration der neuen Erkenntnisse in aktuelle Empfehlungen zur Berechnung der Wellenaufbauhöhe ist denkbar. Potentielle Nutzer der Ergebnisse sind:

- Niedersächsisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
- Amt für ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Husum
- Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein
- Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer, Freie und Hansestadt Hamburg
- Staatliches Amt für Umwelt und Natur, Rostock; Mecklenburg-Vorpommern
- Bundesanstalt für Wasserbau
- Ingenieurbüros

Die Erkenntnisse und Methoden können in weiteren Forschungsprojekten genutzt und weiterentwickelt werden. Ergebnisse des Projekts werden am IWW direkt für weiterführende Entwicklungen und Projekte und für nationale und internationale Forschungs Kooperationen genutzt.

2.5 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Im Zeitraum des Projektes wurden nach Kenntnis der Forschergruppe keine Projekte mit ähnlichem Inhalt an anderen Forschungseinrichtungen bearbeitet bzw. sind deren Erkenntnisse in Form von Tagungsbeiträgen oder Fachartikeln bekannt geworden.

2.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

Veröffentlichungen in Fachzeitschriften

Kreyenschulte, M.; Xu, W.; Schüttrumpf, H. (2021): Numerische Simulationen zur Wellenaufbauhöhe auf rauen Deckwerken (eingereicht). In: Die Küste.

Kreyenschulte, M.; Schürenkamp, D.; Bratz, B.; Schüttrumpf, H.; Goseberg, N. (2020): Wave Run-Up on Mortar-Grouted Riprap Revetments. In: Water 12 (12), S. 3396. DOI: 10.3390/w12123396.

Kreyenschulte, M.; Schüttrumpf, H. (2020a): Tensile Bending Stresses in Mortar-Grouted Riprap Revetments Due to Wave Loading. In: JMSE 8 (11), S. 913. DOI: 10.3390/jmse8110913.

Fachliche Abschlussberichte

Kreyenschulte, M.; Schüttrumpf, H. (2019): Wellenaufbau auf rauen, porösen und durchlässigen Deckwerken (WARP-2) - Zwischenbericht I (unveröffentlicht). Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen University.

Kreyenschulte, M.; Schüttrumpf, H. (2020): Wellenaufbau auf rauen, porösen und durchlässigen Deckwerken (WARP-2) - Zwischenbericht II (unveröffentlicht). Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen University.

Studentische Arbeiten

Schulte, I. (2019): Zur Beschreibung der Rauheit von Deckschichten bei Wellenaufbau (unveröffentlicht). Bachelorarbeit. RWTH Aachen University, Aachen. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft.

Gehrmann, L. M. (2020): Auswertung von Videodaten zur Beschreibung der Wellenaufbauprozesse auf mörtelvergossenen Schüttsteindeckschichten (unveröffentlicht). Masterarbeit. RWTH Aachen University, Aachen. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft.

Xu, W. (2020): Numerische Simulation von Wellenauflaufprozessen auf mörtelvergossenen Schüttsteindeckwerken mit dem Verfahren der Smoothed Particle Hydrodynamics (unveröffentlicht). Masterarbeit. RWTH Aachen University, Aachen. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft.

Literaturverzeichnis

- Crespo, A.J.C.; Domínguez, J. M.; Rogers, B. D.; Gómez-Gesteira, M.; Longshaw, S.; Canelas, R. et al. (2015): DualSPHysics. Open-source parallel CFD solver based on Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH). In: *Computer Physics Communications* 187, S. 204–216. DOI: 10.1016/j.cpc.2014.10.004.
- Gehrmann, L. M. (2020): Auswertung von Videodaten zur Beschreibung der Wellenauflaufprozesse auf mörtelvergossenen Schüttsteindeckschichten (unveröffentlicht). Masterarbeit. RWTH Aachen University, Aachen. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft.
- Kreyenschulte, M.; Schürenkamp, D.; Bratz, B.; Schüttrumpf, H.; Goseberg, N. (2020): Wave Run-Up on Mortar-Grouted Riprap Revetments. In: *Water* 12 (12), S. 3396. DOI: 10.3390/w12123396.
- Kreyenschulte, M.; Schüttrumpf, H. (2019): Wellenauflauf auf rauen, porösen und durchlässigen Deckwerken (WARP-2) - Zwischenbericht I (unveröffentlicht). Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen University.
- Kreyenschulte, M.; Schüttrumpf, H. (2020a): Tensile Bending Stresses in Mortar-Grouted Riprap Revetments Due to Wave Loading. In: *JMSE* 8 (11), S. 913. DOI: 10.3390/jmse8110913.
- Kreyenschulte, M.; Schüttrumpf, H. (2020b): Wellenauflauf auf rauen, porösen und durchlässigen Deckwerken (WARP-2) - Zwischenbericht II (unveröffentlicht). Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen University.
- Kreyenschulte, M.; Xu, W.; Schüttrumpf, H. (2021): Numerische Simulationen zur Wellenauflaufhöhe auf rauen Deckwerken (eingereicht). In: *Die Küste*.
- Schulte, I. (2019): Zur Beschreibung der Rauheit von Deckschichten bei Wellenauflauf (unveröffentlicht). Bachelorarbeit. RWTH Aachen University, Aachen. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft.
- Xu, W. (2020): Numerische Simulation von Wellenauflaufprozessen auf mörtelvergossenen Schüttsteindeckwerken mit dem Verfahren der Smoothed Particle Hydrodynamics (unveröffentlicht). Masterarbeit. RWTH Aachen University, Aachen. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft.

ANHANG

FACHBERICHT

**(in dieser Form zur Veröffentlichung
in der Schriftenreihe *Die Küste* eingereicht)**

