

Stefanie Lorke, Reinhard Pohl und Holger Schüttrumpf

Wellenüberlauf an Flussdeichen

Die Freibordbemessung von Flussdeichen berücksichtigt nach DWA Merkblatt M-507 den Windstau, den Wellenauflauf sowie Zuschläge für Ausführungstoleranzen. In Bergsenkungsgebieten ist zusätzlich ein Setzungsmaß zu berücksichtigen. Wellenüberlauf aufgrund windinduzierter Wellen wird bei der Freibordbemessung von Flussdeichen dagegen nicht berücksichtigt. Gerade im Bereich windexponierter Deichstrecken mit entsprechender Streichlänge des Windes kann Wellenüberlauf jedoch nicht ausgeschlossen werden und ist bei der Freibordbemessung zu berücksichtigen. Aus diesem Grund wurden bestehende Formeln zur Berechnung des Wellenüberlaufs auf der Grundlage experimenteller Untersuchungen auf Flussdeiche übertragen und erweitert.

1 Einleitung

Das DWA-Merkblatt M 507 „Deiche an Fließgewässern“ [1] empfiehlt bei der Freibordbemessung von Flussdeichen die Ermittlung von Windstau, Wellenauflauf und Zuschlägen aufgrund von Ausführungstoleranzen oder Bergsenkungen. Empfehlungen für Berechnungsverfahren zu diesen Bemessungsgrößen werden im DWA-Merkblatt nicht gegeben. Die gegenwärtige Bemessungspraxis von Flussdeichen auf deterministischer Grundlage berücksichtigt weiterhin die zahlreichen Unsicherheiten bei der Vorhersage der Bemessungsgrößen Seegang, Wasserstand und Wellenauflaufhöhe nur unzureichend

und ist somit für eine Risikoabschätzung ungeeignet. Aufgrund dieser Unsicherheiten sowie der stochastischen Natur des Seegangs kann Wellenüberlauf nicht vollständig ausgeschlossen werden und ist bei der Deichbemessung zu berücksichtigen [2]. Insbesondere im Bereich von Deichstrecken mit großen Streichlängen des Windes können windinduzierte Wellen entstehen [3], die zu einem Wellenauflauf und ggf. bei nicht ausreichendem Freibord zu einem Wellenüberlauf führen. Dieser Wellenüberlauf verursacht eine Erosions- bzw. Infiltrationsbelastung der Deichkrone bzw. der Deichbinnenböschung und u. U. ein Versagen der Deichbinnenböschung.

Im Gegensatz zu den Seedeichen im Küsten- und Ästuarbereich liegen wenige Erfahrungen zum Wellenüberlauf an Flussdeichen vor. Daher werden in der Praxis die Berechnungsverfahren für See- und Ästuardeiche ohne weitere Prüfung für Flussdeiche angewendet, obwohl Flussdeiche in vielen Fällen steiler (Neigung der Außenböschung ca. 1:3) als Seedeiche (Neigung der Außenböschung ca. 1:6) sind und 3-D-Aspekte, wie eine deichparallele Strömung, zu berücksichtigen wären. Daher sollen im Folgenden die Ergebnisse experimenteller Untersuchungen zum Einfluss von 3-D-Aspekten auf den Wellenüberlauf an Flussdeichen vorgestellt werden. Die experimentellen Untersuchungen wurden im Rahmen des BMBF-FlowDike-D-Projektes ermittelt.

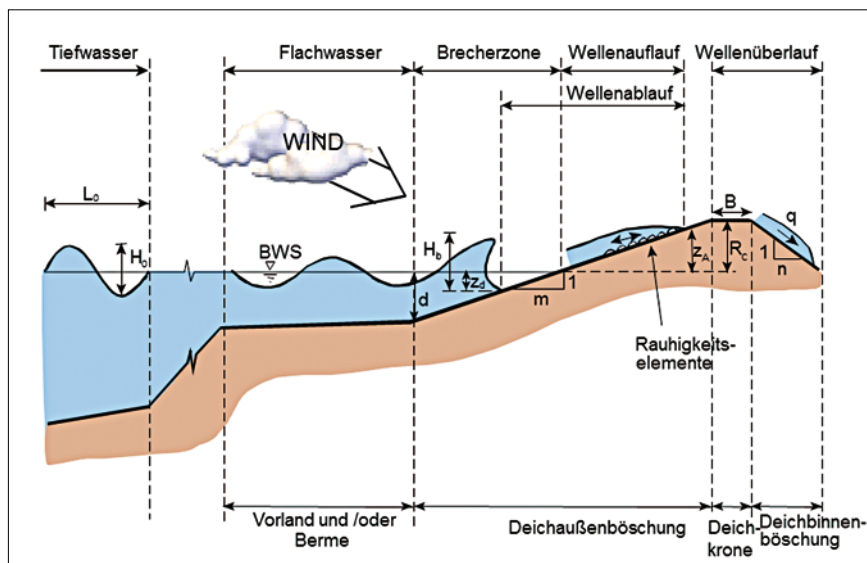


Bild 1: Definition der relevanten Einflussparameter auf den Wellenüberlauf (verändert nach [2])

2 Stand der Forschung

Die Wellenauflaufhöhe an Deichen ist definiert als der Abstand zwischen dem Bemessungswasserstand und dem höchsten Punkt des Wellenauflaufes (**Bild 1**). Aufgrund der stochastischen Natur der Wellen verursacht jede Welle eine individuelle Wellenauflaufhöhe. Um die einzelnen Wellenauflaufhöhen statistisch zu analysieren, hat sich in diesem Zusammenhang die charakteristische Wellenauflaufhöhe $R_{u,2\%}$ durchgesetzt, die von 2 % aller ankommenden Wellen erreicht bzw. überschritten wird. Ihren Ursprung hat die Festlegung der Wellenauflaufhöhe $R_{u,2\%}$ in den Niederlanden in den 1930-iger Jahren, die ursprüngliche Begründung für die

Wahl eines 2%-Wertes kann jedoch nicht mehr eindeutig nachvollzogen werden [4]. Eine maximale Wellenauflaufhöhe $R_{u,max}$ ist aus statistischen Gründen nicht bestimmbar. Wird die Freibordhöhe R_c direkt und ohne Zuschläge aus der Wellenauflaufhöhe $R_{u,2\%}$ abgeleitet, so verursachen 2 % aller Wellen einen Wellenüberlauf. Dieser Wellenüberlauf darf bei der Freibordbemessung nicht ausgeschlossen werden und ist bei der Ermittlung der Kronenhöhe zu berücksichtigen.

Eine Vielzahl von experimentellen Untersuchungen wurde in der Vergangenheit zum Thema Wellenüberlauf weltweit durchgeführt. Erste experimentelle Untersuchungen in Deutschland mit Wellenspektren wurden von [5] für eine glatte, 1:6 geneigte Deichböschung beschrieben. In der Zwischenzeit wurden national wie international zahlreiche experimentelle Untersuchungen in Wellenkanälen und Wellenbecken durchgeführt, um den Einfluss der maßgebenden geometrischen Größen (z. B. Deichneigung, Freibordhöhe, Böschungsrauhheit, Bermen und Knicke im Deichprofil) und der Wellenparameter (Wellenhöhe, Wellenperiode und Wellenangriffsrichtung) zu berücksichtigen. Der aktuelle Stand der Forschung wird durch das EurOtop-Manual [4] zusammengefasst. Das EurOtop-Manual unterscheidet in diesem Zusammenhang zwischen einer probabilistischen Bemessung und einer deterministischen Bemessung und empfiehlt für Deiche und flachgeneigte Böschungen die folgenden Funktionen zur Ermittlung der mittleren Wellenüberlaufhöhe q . Für eine probabilistische Bemessung sind die folgenden Funktionen relevant:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = \frac{0,067}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \gamma_b \cdot \xi_{m-1,0} \cdot \exp\left(-4,75 \frac{R_c}{\xi_{m-1,0} \cdot H_{m0} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right) \quad (1)$$

mit einem Maximum von:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0,2 \cdot \exp\left(-2,6 \frac{R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta}\right) \quad (2)$$

- q mittlere Wellenüberlaufhöhe [$m^3/(s \cdot m)$]
- g Erdbeschleunigung [m/s^2]
- H_{m0} Wellenhöhe [m]
- $\tan \alpha$ 1:m; Neigung der Deichaußenböschung [-]
- γ_b Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung einer Berme [-]
- γ_f Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung der Böschungsrauhheit [-]

- γ_β Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung der Wellenangriffsrichtung [-]
- γ_v Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung einer Kronenmauer [-]
- R_c Freibordhöhe [m]
- $\xi_{m-1,0}$ Brecherkennzahl [-] unter Berücksichtigung der Wellenperiode $T_{m-1,0}$ [s]

Die Brecherkennzahl $\xi_{m-1,0}$ berechnet sich aus der Böschungseigung $\tan \alpha$ und der Wellensteilheit $s_{m-1,0}$:

$$\xi_{m-1,0} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_{m-1,0}}} \quad (3)$$

Die Zuverlässigkeit der Funktionen (1) und (2) ist gegeben durch die beiden Koeffizienten 4,75 und 2,6 als Mittelwert einer Normalverteilung sowie die dazugehörigen Standardabweichungen mit 0,5 bzw. 0,35.

Im Rahmen einer deterministischen Bemessung sind die folgenden Funktionen anzuwenden:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = \frac{0,067}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \gamma_b \cdot \xi_{m-1,0} \cdot \exp\left(-4,3 \frac{R_c}{\xi_{m-1,0} \cdot H_{m0} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right) \quad (4)$$

mit einem Maximum von:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0,2 \cdot \exp\left(-2,3 \frac{R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta}\right) \quad (5)$$

Beide Funktionen wurden auf der Grundlage umfangreicher nationaler und internationaler experimenteller Untersuchungen verifiziert. In Zusammenhang mit der mittleren Wellenüberlaufhöhe ist zu berücksichtigen, dass es sich hierbei um eine zeitlich gemittelte physikalische Größe eines instationären Strömungsvorgangs handelt. Einzelne Wellen können erheblich größere Überlaufhöhen und damit Erosionsbelastungen verursachen.

Trotzdem hat sich international die mittlere Wellenüberlaufhöhe als ein maßgebender Parameter zur Beschreibung des Wellenüberlaufs durchgesetzt.

Die Ermittlung einer mittleren Wellenüberlaufhöhe allein reicht nicht zur Bestimmung der Sicherheit gegenüber

Wellenüberlauf aus. Vielmehr sind auch zulässige Wellenüberlaufhöhen zu bestimmen, um damit ein Versagen der Deichinnenböschung und der Deichkrone infolge Erosion und Infiltration des überlaufenden Wassers zu vermeiden. Hier gibt das EurOtop-Manual [4] ebenfalls Empfehlungen in Abhängigkeit der mittleren Wellenüberlaufhöhe:

- Kein Schaden, wenn Deichkrone und Binnenböschung gesichert sind: $q_{zul} = 50 \text{ l}/(s \cdot m)$ bis $200 \text{ l}/(s \cdot m)$.
 - Kein Schaden, wenn Deichkrone und Binnenböschung durch eine Grasnarbe geschützt sind: $q_{zul} = 1 \text{ l}/(s \cdot m)$ bis $10 \text{ l}/(s \cdot m)$.
 - Kein Schaden bei ungesicherter Deichkrone und Binnenböschung: $q_{zul} = 0,1 \text{ l}/(s \cdot m)$.
- Diese Werte sind im Einzelfall kritisch zu hinterfragen und ggf. durch experimentelle Untersuchungen oder Messungen in der Natur zu bestätigen. Derzeit laufen umfangreiche Messungen in der Natur mit dem Overtopping-Simulator [6], um die zulässigen Wellenüberlaufhöhen zu verifizieren. Bisherige Ergebnisse zeigen, dass die Sicherheit gegenüber Wellenüberlauf realer Fluss- und Seedeiche vielfach deutlich höher als die bisherigen Grenzwerte sind. Dies könnte, wenn diese Ergebnisse durch weitere Messungen und Untersuchungen an realen Flussdeichen bestätigt werden, eine enorme Bedeutung für geplante Deichertüchtigungsmaßnahmen haben.

In einigen Fällen wird eine mittlere Wellenüberlaufhöhe von $0,01 \text{ l}/(s \cdot m)$ als zulässige Wellenüberlaufhöhe angesetzt bzw. Wellenüberlauf wird ausgeschlossen. Hier ist anzumerken, dass eine zulässige mittlere Wellenüberlaufhöhe von $q = 0,0 \text{ l}/(s \cdot m)$ aufgrund folgender Gründe weder theoretisch noch praktisch erreicht werden kann:

Eine zulässige mittlere Wellenüberlaufhöhe von $q = 0,0 \text{ l}/(s \cdot m)$ bedeutet, dass

ANZEIGE

STADT WOLFSBURG

Die Stadt Wolfsburg (123.000 Einwohnerinnen und Einwohner) sucht zum nächstmöglichen Termin für die Umweltaeilung des Geschäftsbereichs Bürgerdienste in Vollzeit eine/einen

Ingenieurin/Ingenieur für die Koordination der Klimaschutzaktivitäten in der Stadt Wolfsburg

Die Ausschreibungsmodalitäten sind einzusehen unter:

<http://www.wolfsburg.de/stellenangebote>



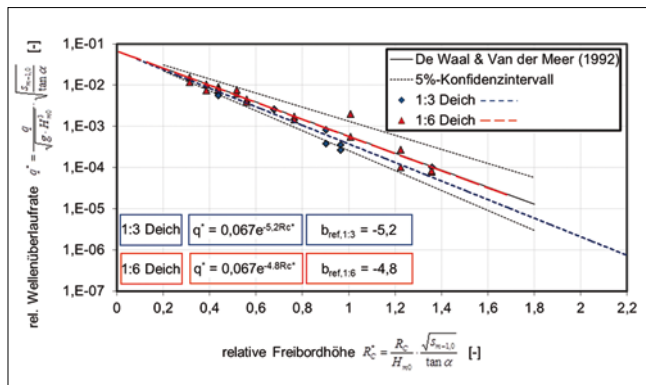


Bild 2: Überprüfung der EurOtop-Formel zum Wellenüberlauf an Flussdeichen für brechende Wellen

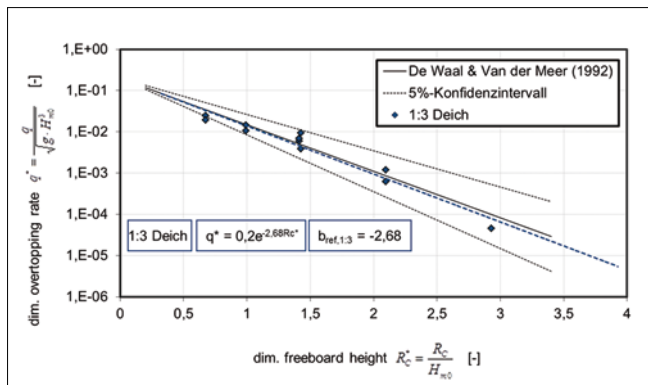


Bild 3: Überprüfung der EurOtop-Formel zum Wellenüberlauf an Flussdeichen für nicht-brechende Wellen

unter keinen Umständen Wasser über die Deichkrone fließen darf. Auch Starkniederschläge oder durch Starkwinde verdriftetes Wasser (Gischt) dürften entsprechend einer „Null-Wellenüberlauf-Vorgabe“ nicht auf die Binnenböschung treffen.

Für große Freibordhöhen und damit kleine mittlere Wellenüberlauraten hängt die mittlere Wellenüberlaurate von der Wellenzahl ab. Dies bedeutet, dass zwar „scheinbar“ während eines Modellversuchs kein Wellenüberlauf gemessen wird, es bei mehr Wellen jedoch zum Wellenüberlauf kommen könnte.

Mittlere Wellenüberlauraten zeigen eine exponentielle Abhängigkeit von der relativen Freibordhöhe. Eine Exponentialfunktion kann nicht zu Null werden.

3 Experimentelle Untersuchungen

Ziel der experimentellen Untersuchungen im Wellenbecken des DHI in Hørsholm, Dänemark, im Rahmen des FlowDike-Projektes war die Bestimmung von mittleren Wellenüberlauraten für typische Flussdeichprofile mit einer 1:3 geneigten Deichaußenböschung sowie die Ermittlung des Einflusses typischer Randbedingungen an Flussdeichen auf den Wellenüberlauf. Die Details der experimentellen Untersuchungen können Lorke et al. [7] und Krüger et al. [9] entnommen werden.

Um die Wellenüberlaurformeln des EurOtop-Manuals [4] auf Flussdeiche zu übertragen, wurde wie folgt vorgegangen:

- Verifikation der EurOtop-Formeln für Böschungen mit einer Neigung der Deichaußenböschung von 1:m = 1:3;
- Bestimmung des Einflusses der Wellenangriffsrichtung auf den Wellenüberlauf;
- Bestimmung des Einflusses einer deich-

parallelen Strömung auf den Wellenüberlauf unter Berücksichtigung der Wellenangriffsrichtung;

- Bestimmung des Einflusses von Wind auf den Wellenüberlauf.

3.1 Verifikation der EurOtop-Formeln für Böschungen mit einer Neigung der Deichaußenböschung von 1:m = 1:3

Um die Gültigkeit der Formeln des EurOtop-Manuals zur Bestimmung der mittleren Wellenüberlaurate einer für Flussdeiche typischen Neigung der Deichaußenböschung von 1:m = 1:3 nachzuweisen, wurden Modellversuche mit Wellenspektren unter senkrechtem Wellenangriff ($\beta = 0^\circ$) durchgeführt. Diese Modellversuche wurden im Rahmen des Projektes FlowDike-D um Modellversuche für eine 1:m = 1:6 geneigte Böschung ergänzt und gemeinsam als Referenzversuche zum Nachweis des korrekten Modellaufbaus und der korrekten Wellensteuerung verwendet. Weiterhin dienen die Referenzversuche dem Vergleich der Ergebnisse der Modellver-

suche mit früheren Untersuchungen [4].

Die gemessenen mittleren Wellenüberlauraten sind in den **Bildern 2 und 3** dargestellt und zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Formeln aus dem EurOtop-Manual. Mit Ausnahme eines Modellversuchs liegen die Ergebnisse der Modellversuche am DHI innerhalb der 5%-Konfidenz-Intervalle der EurOtop-Formeln. Zusätzlich durchgeführte Regressionsrechnungen zeigen eine geringe Abweichung von den Formeln des EurOtop-Manuals, die in der Praxis vernachlässigt werden kann. Auf diese Weise konnte nachgewiesen werden, dass die Formeln nach EurOtop auch auf typische Böschungsneigungen von Flussdeichen übertragen werden können.

3.2 Bestimmung des Einflusses der Wellenangriffsrichtung auf den Wellenüberlauf

Wellen laufen insbesondere an Flussdeichen nicht senkrecht auf den Deich auf, sondern die Wellenrichtung wird durch

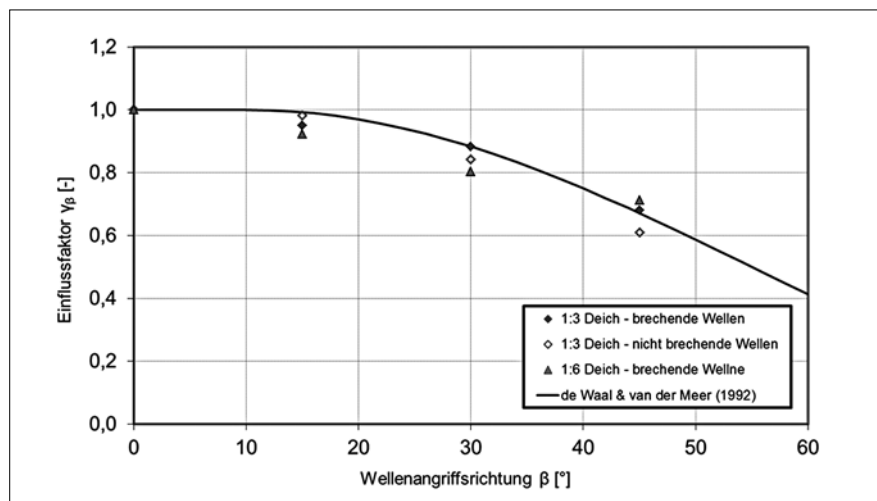


Bild 4: Einfluss der Wellenangriffsrichtung β auf den Wellenüberlauf

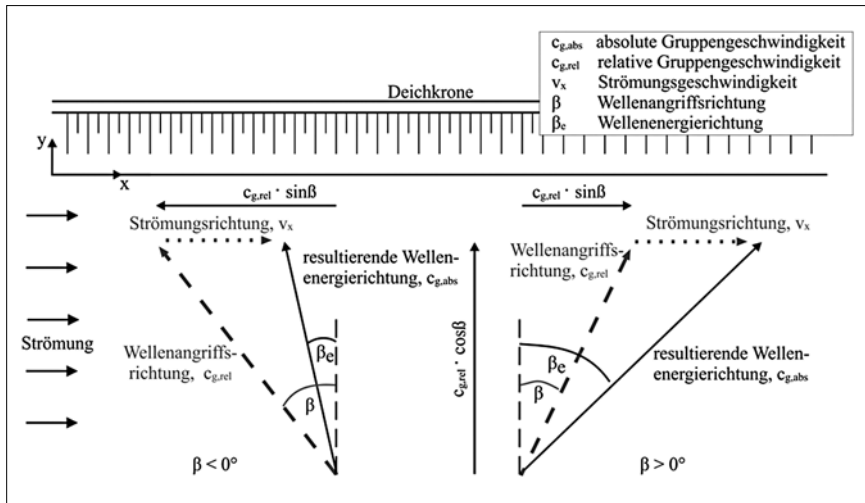


Bild 5: Einfluss einer deichparallelen Strömung v_x auf die Wellenangriffsrichtung β

die Windrichtung vorgegeben. Erst im unmittelbaren Nahbereich der Deichböschung werden die Wellen aufgrund von Flachwassereffekten, wie Refraktion, Shoaling sowie Wellenbrechen, transformiert und ändern insbesondere aufgrund der Refraktion ihre Richtung. Daher muss der Einfluss der Wellenangriffsrichtung auf den Wellenüberlauf durch einen zusätzlichen Korrekturfaktor γ_β berücksichtigt werden:

$$\gamma_\beta = \frac{b_\beta}{b_{\beta=0^\circ}} \quad (6)$$

Experimentell waren somit die Faktoren b_β und $b_{\beta=0^\circ}$ zu bestimmen, die den Steigungen der Exponentialfunktionen entsprechen. Der Faktor $b_{\beta=0^\circ}$ ergibt sich aus den Referenztests (Bilder 2 und 3). Somit gilt für den 1:3 Deich:

- $b_{\beta=0^\circ} = b_{ref,1:3} = -5,19$ für brechende Wellen (Bild 2) und
- $b_{\beta=0^\circ} = b_{ref,1:3} = -2,68$ für nicht-brechende Wellen (Bild 3).

Der Faktor b_β wurde für Wellenangriffsrichtungen zwischen $\beta = 0^\circ$ und $\beta = 45^\circ$ im Wellenbecken des DHI ermittelt. Ein Vergleich des Reduktionsfaktors γ_β mit früheren Untersuchungen zeigt eine sehr gute Übereinstimmung mit der Formel nach de Waal und van der Meer [8] für langkämmigen Seegang:

$$\gamma_\beta = 1,0 \text{ für } \beta < 10^\circ \quad (7)$$

$$\gamma_\beta = \cos^2(\beta - 10) \text{ für } \beta \geq 10^\circ \quad (8)$$

Bild 4 zeigt einen Vergleich zwischen den experimentellen Messungen und der theoretischen Formel nach de Waal und van der Meer [8]. Die experimentellen

Untersuchungen liegen etwas unter der theoretischen Formel, aufgrund der dem Wellenüberlauf inhärenten Streuungen ist dies aber als sehr gute Übereinstimmung zu werten.

3.3 Bestimmung des Einflusses einer deichparallelen Strömung auf den Wellenüberlauf

Um den Einfluss einer deichparallelen Strömung auf den Wellenüberlauf an Flussdeichen zu berücksichtigen, sind zwei Fälle zu unterscheiden (**Bild 5**):

- Strömung und Wellenangriffsrichtung haben die gleiche Richtung,
- Strömung und Wellenangriffsrichtung haben entgegengesetzte Richtungen.

Bei einer Wellenangriffsrichtung gegen die Strömung kommt es somit aufgrund von Strömungsrefraktion zu einer Reduktion des Wellenangriffswinkels und der Wellenlänge, bei einer Wellenangriffsrichtung mit der Strömung zu einer Erhöhung des Wellenangriffswinkels und dadurch zu einer Erhöhung der Wellenlänge. Beide

Effekte können durch Einführung eines Energiewinkels β_e berücksichtigt werden, der sich entsprechend der folgenden Funktion aus der Gruppengeschwindigkeit $c_{g,rel}$, der deichparallelen Strömungsgeschwindigkeit v_x und der Wellenangriffsrichtung β zusammensetzt:

$$\tan \beta_e = \frac{c_{g,rel} \cdot \sin \beta + v_x}{c_{g,rel} \cdot \cos \beta} \quad (9)$$

- β_e Energiewinkel [°]
- $c_{g,rel}$ Gruppengeschwindigkeit [m/s]
- β Wellenangriffsrichtung [°]
- v_x deichparallele Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

Die Details der Berechnung von $c_{g,rel}$ können Lorke et al. [7] entnommen werden.

Im nächsten Schritt ist der Einfluss der deichparallelen Strömung auf den Wellenüberlauf durch einen zusätzlichen Korrekturfaktor $\gamma_{\beta,v}$ zu berücksichtigen:

$$\gamma_{\beta,v} = \frac{b_{\beta,v,x}}{b_{\beta=0^\circ, v_x=0}} \quad (10)$$

Die Vorgehensweise bei der Bestimmung des Korrekturfaktors $\gamma_{\beta,v}$ ist identisch der Vorgehensweise in Abschnitt 3.2 zur Bestimmung des Korrekturfaktors γ_β . **Bild 6** zeigt den Korrekturfaktor $\gamma_{\beta,v}$ in Abhängigkeit des Energiewinkels β_e für brechende Wellen und den 1:3 geneigten Deich. Durch Einführung des Energiewinkels kann der Einfluss einer deichparallelen Strömung auf den Wellenüberlauf berücksichtigt werden und die Formeln zur Berücksichtigung einer Reduktion des Wellenüberlaufs infolge der Wellenangriffsrichtung nach de Waal und van der Meer [8] bzw. EurOtop-Manual [4] besitzen weiterhin Gültigkeit.

3.4 Bestimmung des Einflusses von Wind auf den Wellenüberlauf

Der Einfluss von Wind auf den Wellenüberlauf wurde ebenfalls im Wellenbecken

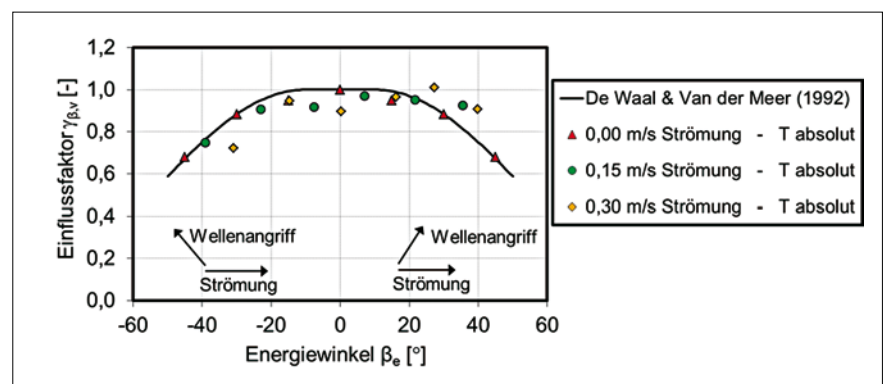


Bild 6: Einfluss von Wellenangriffsrichtung β und einer deichparallelen Strömung v_x auf den Wellenüberlauf

des DHI untersucht. Im Rahmen der Modellversuche konnte weder für kleine noch für große Freibordhöhen eine signifikante Erhöhung der mittleren Wellenüberlauf-raten im Rahmen der untersuchten Windgeschwindigkeiten identifiziert werden. An dieser Stelle ist anzumerken, dass diese Untersuchungen aufgrund der Schwierigkeiten bei der Skalierbarkeit des Windes mit Vorsicht zu betrachten sind und hier noch weiterer Forschungsbedarf besteht.

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im Rahmen der vorliegenden experimentellen Untersuchungen zum Wellenüberlauf an Flussdeichen wurden bestehende Ansätze zur Ermittlung mittlerer Wellenüberlauf-raten für Seedeiche auf die besonderen Randbedingungen von Flussdeichen

angepasst und erweitert. Hierdurch wurden die hydraulischen Grundlagen für eine erweiterte Risikobetrachtung von Flussdeichen entwickelt.

Im nächsten Schritt sind die Wechselwirkungen des überlaufenden Wassers mit dem anstehenden Boden zu untersuchen und Grenzwerte für kritische Wellenüberlauf-raten zu entwickeln. Eine Übertragbarkeit von Untersuchungen an See- und Ästuardeichen auf Flussdeiche ist aufgrund unterschiedlicher Bodeneigenschaften sowie Vegetation nicht möglich.

Danksagung

Die Modellversuche der vorliegenden Arbeit wurden im Rahmen des EU-Hydralab-Projektes „FlowDike“ (Vertrag Nr. 022441) und des BMBF Projektes „FlowDike-D“ (BMBF-03KIS075 und 03KIS076) in Kooperation der RWTH Aachen, der TU Dresden, der TU Braun-

schweig, der Czech Brno University of Technology, der University of Valencia und VanDerMeer Consulting B. V. durchgeführt. Eine weitere Ko-Finanzierung fand durch Rijkswaterstaat (Niederlande) statt.

Autoren

Dipl.-Ing. Stefanie Lorke
Univ.-Prof. Dr.-Ing.

Holger Schüttrumpf

Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen
Mies-van-der-Rohe-Straße 1
52056 Aachen
lorke@iww.rwth-aachen.de
schuettrumpf@iww.rwth-aachen.de

Prof. Dr.-Ing. habil. Reinhard Pohl

Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der TU Dresden
01062 Dresden
Reinhard.Pohl@tu-dresden.de

Literatur

- [1] DWA (Hrsg.): Deiche an Fließgewässern. In: DWA-Merkblätter (2007), Nr. M 507.
- [2] Schüttrumpf, H.; Oumeraci, H.: Layer Thicknesses and Velocities of Wave Overtopping at Seadikes. In: Coastal Engineering (2005), No. 52. S. 473-495.
- [3] Schonlau, H.; Schweim, C.; Köngeter, J.: Freibord am Niederrhein. In: Wasserwirtschaft 95 (2005), Heft 7-8, S. 14-17.
- [4] Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hrsg.): Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual (EurOtop). In: Die Küste (2007), Heft 73 (www.overtopping-manual.com).
- [5] Tautenhain, E.: Der Wellenüberlauf an Seedeichen unter Berücksichtigung des Wellenaufbaus. In: Mitteilungen des Franzius-Instituts (1981), H. 53, S.1-245.
- [6] Van der Meer, J. W.; Hardeman, B.; Steendam, G.-J.; Schüttrumpf, H.; Verheij, H.: Flow depths and velocities at crest and inner slope of a dike, in theory and with the wave overtopping simulator. In: Proceedings of the 32nd International Conference on Coastal Engineering, Shanghai, China, 2010. Paper No. 193.
- [7] Lorke, S.; Brüning, A.; Bornschein, A.; Gilli, S.; Pohl, R.; Spano, M.; van der Meer, J. W.; Werk, S.; Schüttrumpf, H.: On the effect of wind and current on wave run-up and wave overtopping. In: Proceedings of the 32nd International Conference on Coastal Engineering, Shanghai, China, 2010.
- [8] De Waal, J. P.; van der Meer, J. W.: Wave run-up and overtopping on coastal structures. In: Proceedings of the 23rd International Conference on Coastal Engineering, Venice, Italy, 1992, S. 1 758-1 771.
- [9] Krüger, N.; Bornschein, A.; Schüttrumpf, H.; Pohl, R.: Wellenaufbau an Deichen unter komplexen Randbedingungen. In: Wasserwirtschaft 102 (2012), Heft 12, S. 15-19.

Stefanie Lorke, Reinhard Pohl and Holger Schüttrumpf

Wave Overtopping for River Dikes

The freeboard design of river dikes according to the DWA guideline M-507 considers wind set-up, wave run-up and an additional factor for construction tolerances. In areas with mining subsidence an additional rate of settlement has to be taken into account. Especially in wind exposed areas with an appropriate wind fetch length wave overtopping cannot be excluded and has to be considered. Therefore, existing formulas to calculate wave overtopping were transferred and extended for river dikes on the basis of experimental investigations.

Штефани Лорке, Райнхард Поль и Хольгер Шюттрumpf

Перелив волн на береговых речных валах

При расчетах возвышения гребня сооружения над горизонтом воды, а именно береговых речных валов, согласно памятке М-507 Немецкого объединения предприятий водоснабжения, канализации и утилизации отходов (DWA), должны учитываться уровень подъёма уровня воды под действием ветра, накат волн, а также дополнительные коэффициенты конструктивных допусков. В нагорных осадочных зонах необходимо также учитывать уровень оседания. При определении возвышения гребня береговых речных валов над горизонтом воды не учитывается перелив волн, вызванный индуцированными ветром волнами. Однако, именно в области участков дамбы, подвергающихся воздействию ветра, с соответствующей длиной ветрового удара нельзя исключить перелив волн; это должно учитываться при расчете возвышения гребня сооружения над горизонтом воды. По этой причине существующие для расчета перелива волн формулы были расширены на базе экспериментальных исследований и использованы в отношении береговых речных валов.