

WELLENBELASTUNG EINES MOBILEN KÜSTENHOCHWASSERSCHUTZBAUWERKES

von

Sandra Burg¹
Andreas Kortenhaus²
Hocine Oumeraci³

ABSTRACT

The Swiss company KWS System Technology AG has enhanced an existing mobile flood defence system for the use in coastal protection. In this respect, model tests and analyses on wave-induced loading, wave run-up and wave overtopping of the new flood defence system were carried out at LWI. The purpose of the investigations was to develop a design concept for the application of the system under varying conditions, regarding water depth and sea state. This paper summarises the conducted model tests and its results. Contrary to common approaches wave run-up was detected to be dependant on a breaker index, while wave overtopping showed good accordance with the methods recommended in EAK (2002) or TAW (2002). Regarding wave loads it was found that common prediction methods could be applied for the design of the system concerning predominantly pulsating loads. In case of impulsive loads, further investigations may be necessary, as the natural frequency of the system might cause critical system response.

1 EINLEITUNG

Sturmfluten bedrohen auch nach Jahrhunderten des Küstenschutzes noch immer Bevölkerung und Infrastruktur. Dabei gewinnen neben den lange erprobten Küstenschutzbauwerken neue innovative Systeme zunehmend an Bedeutung. In diesem Zusammenhang wurde von dem Schweizer Unternehmen KWS System Technologie AG ein bereits bestehendes mobiles Hochwasserschutzsystem, welches ursprünglich für den Binnenhochwasserschutz

¹ Dipl.-Ing., Leichtweiß-Institut für Wasserbau (LWI), TU Braunschweig, Beethovenstr. 51a, 38106 Braunschweig, Email: s.burg@tu-bs.de

² Dr.-Ing., LWI, TU Braunschweig, Beethovenstr. 51a, 38106 Braunschweig, Email: a.kortenhaus@tu-bs.de

³ Prof. Dr.-Ing., LWI, TU Braunschweig, Beethovenstr. 51a, 38106 Braunschweig

angewandt wurde, für den Küstenschutz weiterentwickelt (Abb. 1). Das System besteht aus in den Untergrund integrierten Stahlbetonwandelementen, die im Hochwasserfall aufgerichtet werden können.



Abb. 1: Modell des mobilen Küstenhochwasserschutzbauwerks im Wellenkanal des LWI

Die vorliegenden Erfahrungen im Einsatz dieses Systems im Binnenbereich können nur bedingt auf die Anwendung im Küstenschutz übertragen werden, da Einwirkungen und Anforderungen wesentliche Unterschiede aufweisen. Daher war eine Untersuchung des neuen Systems mit Hinblick auf die zu erwartenden typischen Belastungen notwendig. Hierzu wurden im Wellenkanal des LWI Modellversuche durchgeführt und darauf aufbauend wurde ein Bemessungskonzept für die welleninduzierte Belastung, den Wellenauflauf und den Überlauf entwickelt.

2 VORHANDENE BEMESSUNGSVERFAHREN

Vorhandene Methoden für die Bemessung von Küstenschutzbauwerken auf Wellenbelastung, Wellenauflauf und -überlauf gelten meist entweder für die relativ flach geneigten Seedeiche, oder für Bauwerke mit senkrechter Front. Die Berücksichtigung einer Berme ist ebenfalls häufig nicht möglich. Das KWS-System besitzt eine relativ steile Neigung, die weder zu denen der Deiche passt noch als senkrecht angenommen werden kann. Daher war es nötig, vorhandene Bemessungsverfahren auf ihre Anwendbarkeit hin zu untersuchen. Diese Verfahren sind in der Regel in ihrer Gültigkeit auf einen oder mehrere Lastfälle begrenzt. Für eine Lastfallunterscheidung wurde (i) der Brecherparameter ξ für Deiche und flach geneigte Böschungen (EAK, 2002), (ii) ein modifizierter Brecherparameter für senkrechte Wände (Allsop et al., 2005), sowie (iii) die Parameter Map für vertikale und steile Wände (Oumeraci et al., 2001) verwendet. In der Parameter Map sind dabei die Lastfälle „stehend“, „leicht brechend“, „Druckschlag“ und „gebrochen“ definiert, wobei nur der Lastfall „Druckschlag“ ein dynamischer Lastfall ist und daher zeitabhängig betrachtet werden muss.

Für die Bemessung des mobilen Systems auf quasi-statische Lasten kommen dagegen zunächst die in EAK (2002) beschriebenen Verfahren von Goda (2000), Sainflou (1928) und SPM (1984) in Betracht, die alle für senkrechte Bauwerke entwickelt wurden. Dabei ist das Verfahren von Goda (2000) für alle quasi-statischen Lastfälle anwendbar, während das Verfahren von Sainflou (1928) für stehende Wellen und das von SPM (1984) für gebrochene Wellen entwickelt wurde. Für die Bemessung von geneigten Wänden hat Neelamani (1999) ein Verfahren vorgeschlagen, welches ebenfalls für quasi-statische Lastfälle gilt.

Für die Bemessung des Systems in Bezug auf Wellenauflauf und Wellenüberlauf stehen die Verfahren aus EAK (2002) und TAW (2002) für Seedeiche zur Verfügung. Ein zusätzliches Verfahren für den Wellenüberlauf von geneigten Wänden findet sich in Owen (1980) und Besley (1999).

3 MODELLVERSUCHE

Für die Untersuchung des mobilen Küstenschutzsystems wurde ein Prototyp in den Wellenkanal des LWI (90 / 2 / 1,25 m) eingebaut und bei unterschiedlichen Wasserständen mit Wellenspektren variierender Seegangparameter belastet.

Den wesentlichen Teil dieses Systems bildeten Wandelemente in Stahlbetonbauweise, die untereinander nur über ein durchgängiges Linienlager mit einer Unterkonstruktion aus I-Profilen verbunden waren (Abb. 2).

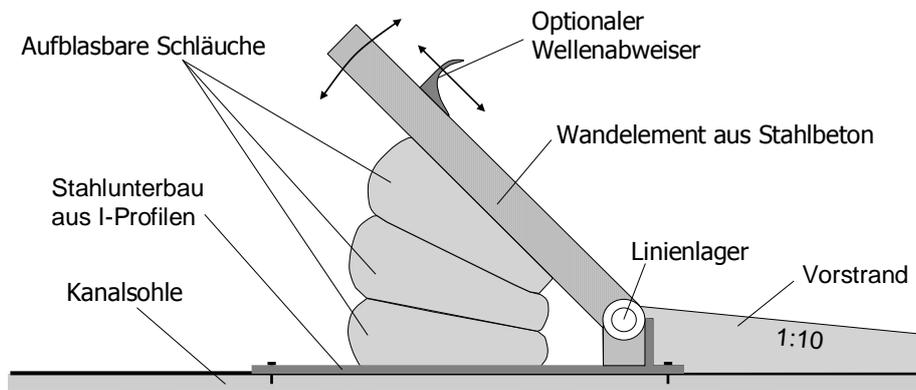


Abb. 2: Querschnitt des untersuchten mobilen Hochwasserschutzsystems

Die Unterkonstruktion war fest in der Kanalsohle verankert. Durch das Lager war die Neigung der Wandelemente variabel. Der gewünschte Neigungswinkel von 30° , 45° und 55° von der Horizontalen wurde durch ein rückseitiges, pneumatisches Aufrichtsystem eingestellt. Zusätzlich waren die Wandelemente des Modells durch Stützen gesichert. Wahlweise wurde ein Vorstrand der Neigung 1:10 oder eine Berme vor dem Modell installiert und optional war die Nutzung eines Wellenabweisers möglich. Die untersuchten Wasserstände lagen im Bereich von 0,50 bis 0,80 m, während Kombinationen aus Wellenparametern mit Wellenhöhen H_{m0} von 0,05 bis 0,30 m und Perioden $T_{m-1,0}$ von 1,5 bis 3,8 s untersucht wurden. Die eingesetzte Messtechnik bestand aus Wellenpegeln und Pegelharfen, sowie aus in die Wandelemente integrierten Druckmessdosen. Für die Messung des Wellenüberlaufes wurde das Überlaufwasser mit einem Trichter aufgefangen und in einen wägbaren Behälter geleitet. Der Wellenauflauf wurde aus Videoaufzeichnungen der Versuche abgeleitet.

4 DATENANALYSE UND ENTWICKLUNG DES BEMESSUNGSKONZEPTES

Die im Versuch aufgetretenen Lastfälle wurden zunächst mit den Vorhersagen aus den oben genannten Verfahren des Schrifttums verglichen. Die Daten stimmten dabei gut mit der Vorhersage aus dem Schrifttum überein, wobei die Ergebnisse der Parameter Map in Kombination mit dem Ansatz für die Auftrittswahrscheinlichkeit von Druckschlägen als die für dieses System geeignetste erschien.

Für die Belastungsermittlung des mobilen Küstenschutzsystems wurden die gemessenen Drücke mittels einer am LWI entwickelten Software aufbereitet und über die gesamte Höhe der Wand integriert. Eine dimensionslose Auftragung der nach dem Verfahren von Goda (2000) vorhergesagten Drücke über den tatsächlich gemessenen ist für eine 30° geneigte Wand und die einzelnen Druckmessdosen in Abb. 3 beispielhaft gegeben. Dabei sind zunächst alle gemessenen Drücke unabhängig vom jeweiligen Lastfall aufgetragen worden.

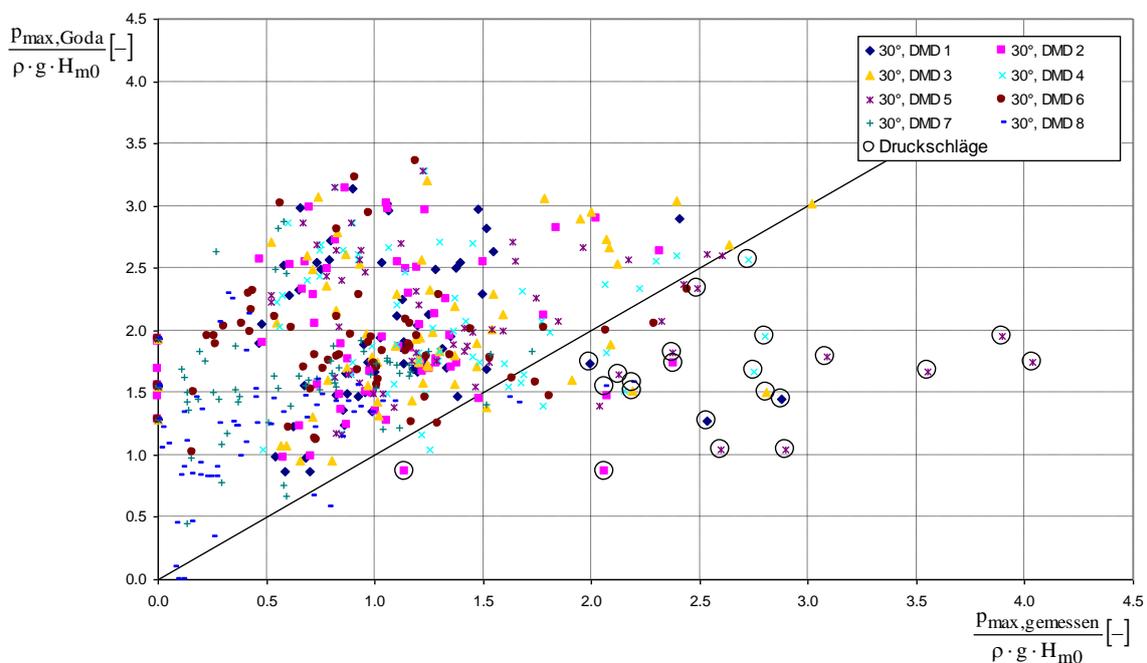


Abb. 3: Relative gemessene Maximaldrücke aller DMD (PC) bei einem Wandneigungswinkel von 30° im Vergleich mit dem Ansatz nach Goda (2000)

Es wurde im Hinblick auf die welleninduzierte Belastung des Modells deutlich, dass das Verfahren von Goda (2000) gut geeignet ist, die Belastung aus den quasi-statischen Lastfällen auf der sicheren Seite liegend zu ermitteln. Dies gilt gleichermaßen für alle untersuchten Wandneigungswinkel. Wie Abb. 3 auch zeigt, ist allerdings für die Bemessung auf Druckschlag (Kreise in Abb. 3) eine gesonderte Betrachtung nötig. Hierzu wird auf die Verfahren in Oumeraci et al. (2001) verwiesen.

Im Hinblick auf den Wellenauflauf konnte die im Schrifttum beschriebene Abhängigkeit von dem Brecherparameter ξ für derartig steile Wände nicht festgestellt werden. Während der dimensionslose, gemessene Wellenauflauf z_{98}/H_{m0} [-] aus Versuchen mit eingebauter

Berme noch eine relativ gute Übereinstimmung aufwies, war die Abweichung der Messdaten der Versuche mit Vorstrand sehr hoch. Stattdessen wurde hier eine Abhängigkeit der Wellenaufbauhöhe z_{98} [m] von dem zusammengesetzten Parameter H_{m0}/d festgestellt (Oumeraci et al., 2007).

Der gemessene Wellenüberlauf zeigte eine gute Übereinstimmung mit den Verfahren aus EAK (2002) und TAW (2002), während die Anwendung der Verfahren von Owen (1980) und Besley (1999) den tatsächlichen Wellenüberlauf stark überschätzte. Daher wurden die Koeffizienten des Ansatzes nach TAW (2002) angepasst und so ein Bemessungsansatz erzielt. Der Einsatz des Wellenabweisers bewirkte im mittleren relativen Freibordbereich eine Reduktion des Wellenüberlaufs bis auf ca. 1 % der Werte ohne Abweiser.

DANKSAGUNG

Die Untersuchungen wurden durch das Schweizer Unternehmen KWS System Technologie AG beauftragt und gefördert. Die Autoren bedanken sich für die hierdurch geleistete Unterstützung.

SCHRIFTTUM

- Allsop, W.; Bruce, T.; Pearson, J.; Besley, P.: Wave overtopping at vertical and steep seawalls. *Maritime Eng.*, vol. 158, no. MA3, pp.103-114, 2005.
- Besley, P.: Wave Overtopping of Seawalls – Design and Assessment Manual. R&D Technical Report, no. W178, Environment Agency, Bristol, UK, 1999.
- EAK: Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken. Die Küste. Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hrsg.), Heft 65, Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens & Co., Heide/Holstein, 2002.
- Neelamani, S.; Schüttrumpf, H.; Muttray, M.; Oumeraci, H.: Prediction of wave pressures on smooth impermeable seawalls. *Ocean Eng.*, vol. 26, pp. 739-765, 1999.
- Oumeraci, H.; Kortenhaus, A.; Allsop, W.; de Groot, M.; Crouch, R.; Vrijling, H.; Voortman, H.: Probabilistic Design Tools for Vertical Breakwaters. Balkema Publishers, Lisse, 2001.
- Oumeraci, H.; Kortenhaus, A.; Burg, S.; Lambrecht, H.-J. (2007): Hydraulic model investigations on wave loading and overtopping of mobile flood defence systems. Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Germany.
- Owen, M.W.: Design of seawalls allowing for wave overtopping. HR Wallingford, Report EX 924, Wallingford, UK, 1980.
- TAW: Technical Report on Wave Run-up and Wave Overtopping at Dikes. Technical Advisory Committee on Flood Defence, Delft, The Netherlands, 2002.