BRUCHENTWICKLUNG UND DURCHBRUCH VON SEEDEICHEN − GROßMAßSTÄBLICHE MODELLVERSUCHE

von

Peter Geisenhainer [1]
Hocine Oumeraci[2]

ABSTRACT

Large-scale tests concerning the breach initiation and development of inhomogeneous sea dikes were performed between February and June 2008 in the Large Wave Flume (GWK) in Hannover. The test was part of the **FLOOD*site*** project of the EC (www.floodsite.net). The main objectives of the experiments were the investigation of the breach development initiated by wave overtopping but also the influence of breaking waves and wave overtopping on the initiation of grass cover erosion was investigated. The result of the breaching test is comparable with the natural breach development even an initial notch was installed in the dike crest. During the test performance different

1 EINLEITUNG

Teile der deutschen, dänischen und niederländischen Nordseeküste werden durch ein komplexes Schutzsystem aus Deichen gegen Überschwemmungen infolge von Sturmfluten geschützt. Die meisten Deiche bestehen aus einem Sandkern, einer Kleiabdeckung sowie einer Grasnarbe. Während Sturmfluten sind diese Deiche unterschiedlichen Belastungen ausgesetzt, die zu einem Versagen des Deiches (z.B. Deichbruch) führen können. Dazu gehören Druckschläge auf der Seeseite, Wellenüberlauf und anschließender Wellenablauf auf der Landseite sowie intensiver Wellenauflauf und -ablauf auf der Seeseite.

[1] Dipl.-Ing., Leichtweiß-Institut für Wasserbau (LWI), TU Braunschweig, Beethovenstr. 51a, 38106 Braunschweig, Email: p.geisenhainer @tu-bs.de
[2] Prof. Dr.-Ing., LWI, TU Braunschweig, Beethovenstr. 51a, 38106 Braunschweig

2 ZIELE

Im Rahmen des Europäischen **FLOOD*site*** Projektes (www.floodsite.net) wurden im Zeitraum Mai und Juni 2008 großmaßstäbliche Versuche zum Deichbruch im Großen Wellenkanal (GWK) in Hannover durchgeführt. Die Hauptziele der Versuche waren:

- Vertiefung des Verständnisses der Bruchentwicklung von Seedeichen;
- Untersuchung des Einflusses von Druckschlag und Wellenüberlauf auf die Initiierung der Bruchentwicklung von Seedeichen auf der See- bzw. auf der Landseite;
- Analyse der ablaufenden hydrodynamischen und morphodynamischen Prozesse.

3 PROTOTYP UND MODELL DES SEEDEICHES

Der Querschnitt des im GWK verwendeten Deichmodells ist typisch für die Küste der Deutschen Bucht (Abb. 1). Der Größenmaßstab des Modells beträgt etwa 1:1.25. Eine maßstäbliche Verkleinerung des Deichmodells war nicht möglich, da eine Skalierung von Gras nicht möglich ist. Kleinmaßstäbliche Vorversuche wurde im Jahr 2005 am LWI der TU Braunschweig durchgeführt. Die Erkenntnisse aus diesen Versuchen sind in den Modellaufbau eingeflossen.

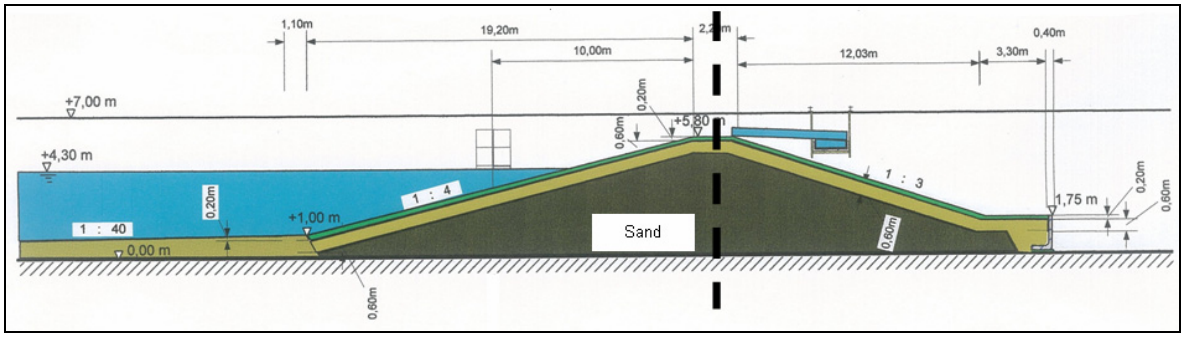

Abb. 1: Querschnitt des Deichmodells im GWK, Hannover

Die stärkere seeseitige Neigung (1:4) wurde verwendet, um Druckschläge auf der Außenböschung zu provozieren und untersuchen zu können. Nach der EAK werden seeseitige Deichneigungen von 1:6 und mehr empfohlen. Die landseitige Neigung betrug 1:3. Die Deichkrone hatte eine Höhe von 5,8m über Kanalsohle und eine Breite von 2,2m. Das Deichmodell bestand aus einem Sandkern, einer 0,6m starken Kleidecke und einer Grasnarbe. Die Grasnarbe wurde aus der Deichkrone eines Flügeldeichs in der Nähe von Ribe (Dänemark) entnommen. In Abb. 2 ist der Querschnitt einer Grassode dieses Deiches dargestellt. Die oberen 3cm bildeten die eigentliche Grasnarbe, die darunterliegenden 17cm bestanden aus Klei und waren durch ein feines Wurzelwerk mit der Grasnarbe verbunden. Die Grassode wurde auf einer 25mm starken Siebdruckplatte transportiert.

Bei der Entnahme der Sode wurde darauf geachtet, dass die Verbindung von Boden und Wurzel so wenig wie möglich gestört wurde. Die einzelnen Grassoden mit einer Größe von 1,25m x 2,35m x 0,2m wurden anschließend im GWK auf eine 0,6m dicke Kleischicht im

Läuferverband (versetzte Anordnung der Grassoden in Längsrichtung des Kanals) aufgebracht. Der Läuferverband war notwenig, um lange vertikale Fugen auf der Deichoberfläche zu verhindern. Abb. 3 gibt einen Gesamteindruck der Landseite des Deichmodells. Die Fugen zwischen den einzelnen Grassoden wurden mit Klei aufgefüllt und verdichtet.

Abb. 2: Querschnitt durch die Grassode

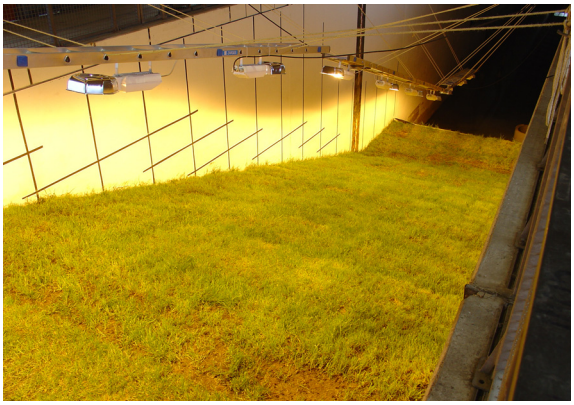

Abb. 3: Eingebaute landseitige Böschung (1:3) im GWK

Der Modellaufbau war nach insgesamt vier Wochen abgeschlossen und anschließend wurde der Grasnarbe eine Erholungszeit von vier Wochen gegeben, in der gemäht und bewässert wurde. Die Beleuchtung (Abb. 3) war notwendig, um eine bestmögliche Versorgung der Pflanzen mit „Sonnenlicht“ zu ermöglichen, sie wurde während der Versuchsdurchführung entfernt und nach jedem Test wieder angebracht. Die Gewächshauslampen waren über das gesamte Deichmodell vom Fuß der Seeseite bis zum Fuß der Landseite verteilt. Der Aufbau und die Konstruktion des Deichmodells sind in GEISENHAINER, 2008 dargestellt.

4 VERSUCHSPROGRAMM UND -DURCHFÜHRUNG

Die Versuche zur Deichbruchentwicklung wurden in vier unterschiedlichen Phasen durchgeführt. In Phase 1 wurde der Einfluss von Druckschlägen infolge brechender Wellen auf den Erosionsbeginn untersucht. Anschließend wurde in Phase 2 der Einfluss von Wellenüberlauf auf die Schädigung der Grasnarbe auf der Landseite untersucht. Der Einfluss von Schwachstellen, wie Schadstellen durch Wühltiere, Einbauten in den Deich etc. auf die Beständigkeit der Grasnarbe auf der Landseite wurde in Phase 3 beobachtet. Zum Schluss wurde in Phase 4 die Bruchentwicklung auf der Landseite infolge von Wellenüberlauf untersucht. Dafür wurde eine Initiierungsbresche in die Deichkrone gegraben, um den Ort und den Beginn des Bruchs zu definieren.

Während der Tests lag der Wasserstand in Phase 1-Tests bei 3,7m und bei den Wellenlauftests (Phasen 2 und 3) sowie in Phase 4 bei 5,0m. Die Wellenperiode T_P reichte von 4 bis 10s. Die Wellenhöhe H_S variierte zwischen 0,5m und 1,0m.

Die Messung der Druckschläge auf der Seeseite infolge brechender Wellen erfolgt mit Druckmessdosen, die in die Grasnarbe eingebaut waren. Die Überlaufmengen in Testphase

2 wurden mit Hilfe eines Überlaufbehälters, der quer über der landseitigen Deichböschung befestigt war, bestimmt.

Um einen typischen Deich nachzubilden, wurden unterschiedliche Schwachstellen (STANCZAK & GEISENHAINER, 2007) in Phase 3 wie folgt auf der Landseite eingebaut:

- Löcher mit unterschiedlichen Durchmessern und Tiefen, die von Wühltieren verursacht werden, z.B. Kaninchen (*Oryctolagus cuniculus*) oder Maulwurf (*Talpa europaea*);
- Schäden an der Grasdecke, z.B. Bereiche ohne Grashalmen und Graspflanzen.

5 ERGEBNISSE

Die Bruchentwicklung des Seedeiches infolge Wellenüberlauf, wie er in der Natur zu beobachten ist, konnte während des Versuches in Phase 4 nachgebildet werden, auch wenn eine Initialbresche nötig gewesen ist, um die Bruchentwicklung zu starten. Eine Aufnahme der Bruchentwicklung ist in Abb. 4 dargestellt.

Abb. 4: Bruchentwicklung auf der landseitigen Böschung

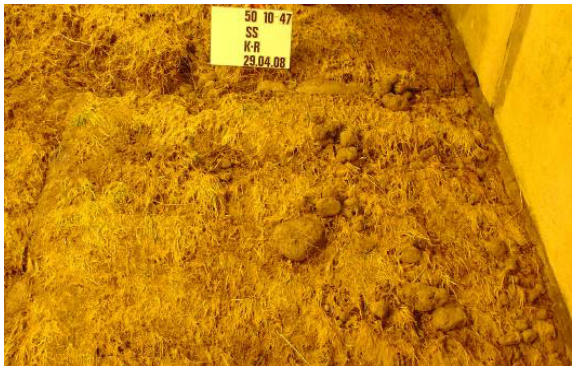

Abb. 5: Kugelförmige Kleiaggregate

Ein Einfluss der Schwachstellen auf die Stabilität der Grasnarbe konnte während der Versuchsdurchführung beobachtet werden. Bereiche, in denen die Grasnarbe durch Wellenschlag vorgeschädigt war, widerstand dem weiteren Wellenauf- und ablauf nicht mehr. Außerdem konnte eine Erosion der Grasnarbe unterhalb von Wühltierlöchern beobachtet werden. Eine weitergehende Untersuchung vor allem der Langzeiteinflüsse muss aber noch durchgeführt werden.

Des Weiteren konnte beobachtet werden, dass abbrechende Kleibrocken und Grassoden Einfluss auf die Bruchentwicklung haben. Die kollabierenden Blöcke lagerten sich in dem entstandenen „Tosbecken“ ab und verhinderten zeitweise eine weitergehende Erosion der darunterliegenden Sandschicht, da das herabstürzende Wasser durch die abgelagerten Bodenteile gedämpft wurde und der Sandkern abgedeckt war. In Abb. 5 sind die aufgetretenen kugelförmigen Formationen der Kleiaggregate zu sehen, wie sie nach den Versuchen im Bereich der versagten Grassoden zu finden waren. Die kugelförmigen Kleiaggregate

waren bereits in den Grassoden vorhanden. Dies konnte bei der Untersuchung der Grasmatten festgestellt werden.

Ein Absterben bzw. eine Schädigung der obersten Grasschicht konnte auch unter Verwendung von künstlicher Beleuchtung nicht verhindert werden. Einerseits kann die Schädigung der Graspflanzen infolge von Druckschlägen auch in der Natur festgestellt werden, andererseits ist sie aber auch zum Teil Folge des „Dauereinstaus“ auf der Seeseite. Die Schädigung der Grasnarbe hat einen direkten Einfluss auf die Widerstandsfähigkeit. Die Erosion der Grasnarbe und der darunterliegenden Kleischicht infolge von Druckschlagbelastung durch brechende Wellen ist mit den beobachteten Schäden während der Sturmflut 1976 in Dänemark vergleichbar (KYSTDIREKTORATET, 2005).

Der „Piping“-Effekt unter den Grassoden, wie er während des Bruchversuchs auftrat, konnte nicht verhindert werden. Dabei floss Wasser zwischen den Grassoden und der Kleischicht und trat am landseitigen Deichfuß wieder aus. Als Folge konnte ein teilweises Abrutschen der Grasdecke während des Bruchversuchs beobachtet werden. Die Ursache liegt in der fehlenden Verbindung zwischen der aufgebrachten Kleischicht und den Grassoden. Die dünnen Risse und Fugen konnten beim Modellaufbau nicht verhindert bzw. geschlossen werden.

Die Versuche zur Deichbruchentwicklung im GWK konnten einen Einblick in die Versagensmechanismen und den daraus resultierenden Schäden infolge der unterschiedlichen Belastungen gewähren. Obwohl es eine künstliche Bruchinitiierung gab, kann die Bruchentwicklung mit der in der Natur ablaufenden Entwicklung verglichen werden.

6 DANKSAGUNG

Die hier dargestellten Arbeiten werden durch die Europäische Union im Rahmen des **FLOOD*site*** -Projektes (GOCE-CT-2004-505420) im 6. Forschungsrahmenprogramm gefördert. Die hier veröffentlichte Darstellung spiegelt dabei die Meinung der Autoren und nicht die der Europäischen Union wider. Weder die Europäische Union noch das **FLOOD*site*** -Konsortium sind für jedwede Nutzung der Information in diesem Beitrag verantwortlich.

7 SCHRIFTTUM

GEISENHAINER, P.: Sea dike breach initiation and development. Leichtweiß-Institut for Hydraulic and Water Resources, Braunschweig, Germany, 74 pp. (2008):

KYSTDIREKTORATET: Risikoanalyse af digebskyttede omrader. Kystdirektoratet, 43 pp. (2005)

STANCZAK, G. & GEISENHAINER, P.: Weak spots in grass and clay cover of sea dikes as potential locations of breach initiation. Internal Paper, Leichtweiß-Institute for Hy-draulic Engineering and Water Ressources, Braunschweig, 6 pp. (2007):