

WELLENBELASTUNG DES HISTORISCHEN DECKWERKS

AM WESTENDE VON BALTRUM

von

Markus Brühl¹
Andreas Kortenhaus²
Hocine Oumeraci³

ABSTRACT

The East Frisian islands are subject to persistent change of their geographical situation. Coastal protection measures are designed to assist in slowing down or stopping this process to preserve the islands for tourists and as a protective structure for the main shoreline. The Leichtweiß-Institut für Hydraulic Engineering and Water Resources, Dept. of Hydromechanics and Coastal Engineering (LWI), was assigned by the Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Division Norden-Norderney, to investigate the current status of the revetments on Baltrum island with regard to the expected mean overflow rate and the pressures due to wave impacts. First calculations with design formulae for wave overtopping gave very high overtopping rates for the very complex and specific S-shaped revetment profile. To verify these results, small-scale model tests were conducted in the LWI wave flume. Due to the discrepancies between the theoretical approach and the test results new specific design formulae based on the latter were developed. The paper provides some background of the situation on Baltrum and describes the model tests at LWI performed for the current situation.

1. EINLEITUNG

Die ostfriesischen Inseln unterliegen einem ständigen geographischen Veränderungsprozess, der durch den Bau von Küstenschutzbauwerken verlangsamt oder aufgehalten werden soll. Auf Baltrum werden seit 1870 Küstenschutzanlagen geplant (s. Abb. 1), um die Insel als Touristengebiet und Schutzwerk für die Küstenlinie des Festlands zu erhalten.

Neue Bemessungswasserstände und angepasste Seegangparameter erfordern eine ständige

¹ Dipl.-Ing., Leichtweiß-Institut für Wasserbau (LWI), TU Braunschweig, Beethovenstr. 51a, 38106 Braunschweig, E-Mail: m.bruehl@tu-bs.de

² Dr.-Ing., LWI, Braunschweig, Beethovenstr. 51a, 38106 Braunschweig,

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

Überprüfung der Wirksamkeit der aktuellen Schutzanlagen ständig und gegebenenfalls eine Anpassung an die veränderten Bedingungen.

Das Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abteilung Hydromechanik und Küsteningenieurwesen (LWI), wurde vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Betriebsstelle Norden-Norderney, beauftragt, die sich am Westkopf der Insel befindlichen Schutzanlagen anhand von kleinmaßstäblichen Modellversuchen auf den Wellenüberlauf und die Wellenbelastung zu überprüfen und gegebenenfalls mögliche Ausbauvarianten vorzuschlagen.



Abb. 1: Untersuchungsgebiet

2. DARSTELLUNG DES IST-ZUSTANDES AUF BALTRUM

Das Deckwerk am Westkopf der Insel Baltrum wird im Wesentlichen durch zwei Regelprofile charakterisiert: Das Profil am Weststrand (Regelprofil A) besteht aus einer Fußvorlage aus Basaltsäulenpflaster, einem steilen S-Profil aus Beton, einer Berme (Wandelbahn) aus Betonplatten, einer konkaven Hochwasserschutzwand, einer weiteren Berme sowie einer abschließenden geneigten Hochwasserschutzwand (s. Abb. 2).

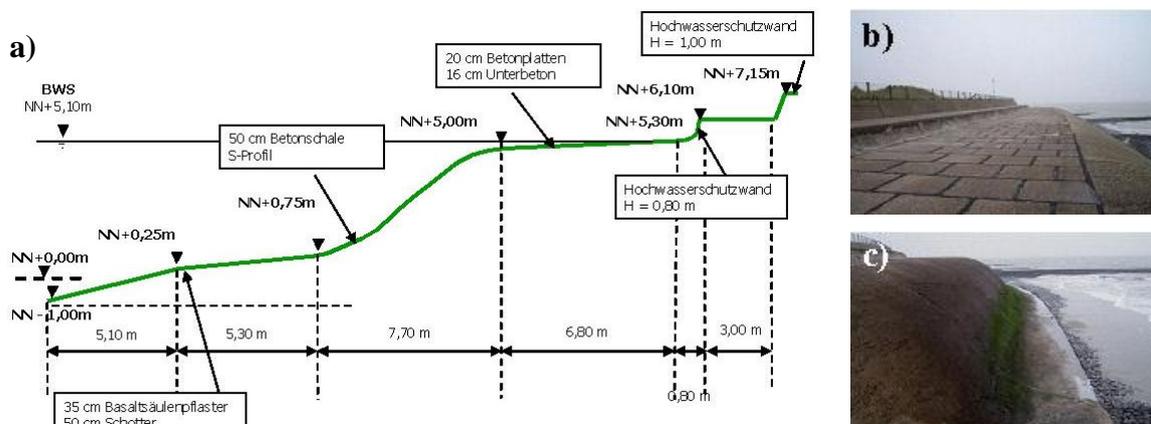


Abb. 2: a) Querschnitt des Regelprofils A; b) Wandelbahn und Hochwasserschutzwände; c) S-Profil und Fußvorlage

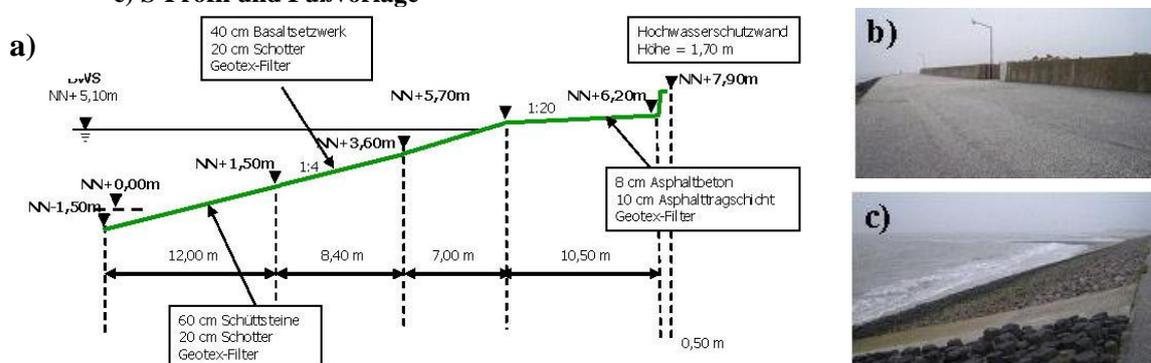


Abb. 3: a) Querschnitt des Regelprofils B; b) Wandelbahn und Hochwasserschutzwand; c) Schrägdeckwerk

Da in der Vergangenheit die starke Wellenbelastung am Nordstrand zu Schäden am Deckwerk führte, wurde in diesem Bereich das stark belastete, steile S-Profil durch ein Schrägdeckwerk aus Schüttsteinen bzw. Basaltsäulen ersetzt. Dieses Regelprofil B weist auch nur noch eine Berme aus Asphaltbeton sowie eine landwärts geneigte gerade Hochwasserschutzwand auf (s. Abb. 3).

3. VORHANDENE BEMESSUNGSANSÄTZE

Vor Beginn der Modellversuche wurden die maßgeblichen, im Schrifttum vorliegenden Bemessungsansätze für den Wellenüberlauf sowie die Belastung des Deckwerks zusammengetragen. Für die Ermittlung des theoretischen Wellenüberlaufs werden die Ansätze nach Owen (1980), van der Meer und Janssen (1995), EAK (2002), Bradbury und Allsop (1988) sowie eine anhand kleinmaßstäblicher Modellversuche im institutseigenen Wellenkanal des LWI für den Weststrand der Insel Norderney ermittelte Bemessungsformel verwendet (Oumeraci et al. (2004)). Darüber hinaus werden die Ergebnisse der Modellversuche der CLASH-Datenbank (www.clash-eu.org) mit den Ergebnissen vergleichbarer Modellversuche in anderen Forschungseinrichtungen verglichen. Dieser Vergleich wird mit dem auf einem neuronalen Netzwerk basierenden und im CLASH-Projekt entwickelten Programm „NN_Overtopping 2“ durchgeführt.

Für die Belastung des Deckwerks werden die Bemessungsverfahren nach EAK (2002), der empirische Ansatz für den Weststrand Norderneys (Oumeraci et al. (2004)) sowie ein auf großmaßstäblichen Modellversuchen im Großen Wellenkanal (GWK) basierender empirischer Ansatz für die Schwallmauern des Deckwerks am Nordstrand Norderneys betrachtet (Oumeraci et al. (2000)). Die Anpassung und Anwendung dieser Bemessungsansätze auf die komplexe Baltrumer Deckwerksgeometrie lieferte, je nach Ansatz, stark unterschiedliche Ergebnisse. Alle Resultate wiesen jedoch darauf hin, dass sowohl der Wellenüberlauf wie auch die Wellenbelastung der Strandmauer deutlich zu hoch sind. Daher wurden kleinmaßstäbliche Modellversuche durchgeführt, um zuverlässige Bemessungsformeln für die Regelprofile A und B zu entwickeln.

4. MODELLVERSUCHE UND VERSUCHSPROGRAMM

Die Modellversuche wurden im institutseigenen Doppel-Wellenkanal (Länge: 90 m / Tiefe: 1,25 m / Breite: 2 m und 1 m) des LWI durchgeführt. Die Umrechnung der Parameter auf



Abb. 4: Modellaufbau Regelprofil A



Abb. 5: Modellaufbau Regelprofil B

den Modellmaßstab von 1:10 erfolgt mit dem Froudeschen Ähnlichkeitsgesetz. Das Deckwerksmodell aus Estrich wurde auf einem Sandkern errichtet (Abb. 4 und 5).

Der Bemessungswasserstand für Baltrum beträgt NN+5,10m. Um eine Aussage über das hydraulische Verhalten des Deckwerks auch bei niedrigeren Wasserständen treffen zu können, wurden zusätzlich Versuche mit den Wasserständen NN+4,50 m, NN+4,12 m und NN+3,80 m durchgeführt.

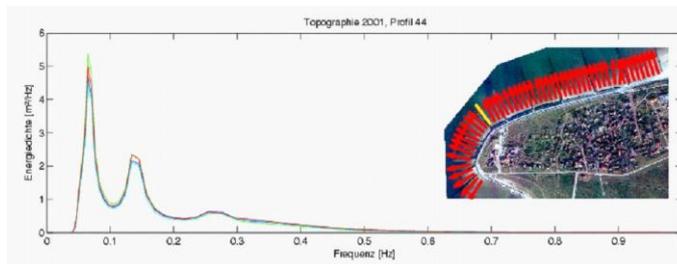


Abb. 6: Ausgewählte Seegangsspektren Quelle NLWKN

Mittels numerischer Seegangsberechnungen des Geschäftsbereichs Forschungsstelle Küste der NLWKN Betriebsstelle Norden-Norderney mit dem Programm SWAN lagen Seegangparameter (Doppelpeakspektren) im Abstand von 150 m, 100 m, 60 m und 30 m vor dem Deckwerk vor.

Für die Modellversuche des Regelprofils A wurden für zwei repräsentative Spektren die Wellenparameter 150 m vor dem Deckwerk ausgewählt: $H_{m0} = 1,37 \text{ m}$ / $T_{m-1,0} = 7,22 \text{ s}$ (Profil 31) am südlichen Ende des Untersuchungsbereichs und $H_{m0} = 2,36 \text{ m}$ / $T_{m-1,0} = 9,05 \text{ s}$ (Profil 44) am Nordstrand im Übergang zwischen den Regelprofilen A und B. Es wurden Kurzzeitversuche von 10 min. Dauer mit JONSWAP- und Naturspektren sowie für ausgewählte Parameter Langzeitversuche (Dauer > 1h) mit Naturspektren durchgeführt.

Während der Modellversuche zeigte sich, dass der Mauerblock aus den beiden Strandmauern und der dazwischen liegenden oberen Berme beim Bemessungswasserstand für das auflaufende Wasser wie eine Sprungschanze wirkt. Die Wellen prallten auf das gewölbte Profil des Mauerblocks und wurden dabei über die Strandmauer gelenkt (s. Abb. 7).



Abb. 7: „Springende“ Welle am Deckwerk im Regelprofil A während der Modellversuche

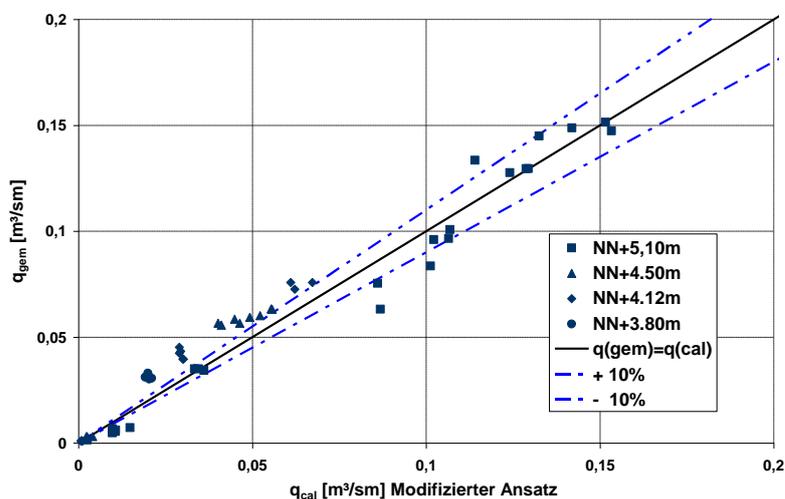
5. AUSWERTUNG DER VERSUCHSDATEN

Bei der Auswertung der Modellversuche mit dem Regelprofil A zeigten sich gute Übereinstimmungen zwischen den mittleren Wellenüberlaufzeiten der Kurzzeit- und der Langzeitversuche. Für die Parameter des Profils 44 am Nordstrand lieferten die

Versuchsauswertungen für den Bemessungswasserstand von NN+5,10m und Naturspektren Überlaufraten von bis zu 95 l/s·m für die Kurzzeitversuche und bis zu 100 l/s·m für die Langzeitversuche, jeweils bei Wellenhöhen von $H_{m0} = 2,39$ m bzw. $H_{m0} = 2,27$ m. Die tatsächlichen Wellenhöhen H_{m0} lagen somit knapp über bzw. unter der Bemessungswellenhöhe von $H = 2,36$ m für diesen Bereich.

Für das am Weststrand im Wellenschatten gelegene Profil 31 ergaben sich bei Bemessungswasserstand für Naturspektren mittlere Wellenüberlaufraten von bis zu 6,8 l/s·m für die Kurzzeitversuche und von bis zu 7,3 l/s·m für die Langzeitversuche.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Resultate der vorhandenen Bemessungsansätze qualitativ bestätigt wurden - die im Bemessungsfall zu erwartenden mittleren Wellenüberlaufraten liegen wesentlich zu hoch. Um aus den Modellversuchen eine zuverlässige Bemessungsformel für die spezielle Geometrie des S-Profildeckwerks zu entwickeln, wurde zunächst überprüft, welche der theoretischen Ansätze die größte Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen lieferte. Dieser Ansatz wurde dann mittels empirischer Einflussfaktoren an die tatsächlichen gemessenen Versuchsergebnisse angepasst.



Die Auftragung der vorab berechneten Werte mit den Ergebnissen der Modellversuche in Abb. 8 zeigt, dass die Verwendung der allgemeinen Wellenüberlaufratenformel nach Gl. (1) die besten Ergebnisse liefert, wenn die Ermittlung der Regressionskoeffizienten q_0 und b nach dem Ansatz von Bradbury und Allsop (1988) erfolgt. Dieser modifizierte Ansatz ergab die beste Übereinstimmung mit den Versuchswerten.

Abb. 8: Berechnete relative Wellenüberlaufraten im Vergleich zu Messergebnissen

Die empirischen Koeffizienten wurden dabei zu $q_0 = 0,0013$ und $b = -27,216$ bestimmt, so dass sich die empirische Überlaufbemessungsformel nach Gl. (2) ergibt:

$$q_* = q_0 \cdot e^{(-b \cdot R_*)}, \quad (1)$$

$$q = 0,0013 \cdot g \cdot H_{m0} \cdot T_{m,-1,0} \cdot \exp\left(-27,216 \left(\frac{R_C}{H_{m0}}\right) \cdot \sqrt{\frac{s_{om}}{2\pi}}\right). \quad (2)$$

Neben der Überlauformel für das S-Profil (Regelprofil A) wurde auch eine Bemessungsformel für das Regelprofil B (Schrägdeckwerk) im Ist-Zustand ermittelt. Darüber hinaus wurden zusätzliche Überlaufberechnungen mit dem Programm PC-Overtopping durchgeführt, das auf den Ansätzen des TAW (2002) basiert.

6. AUSBLICK

Die Analyse des Ist-Zustandes wird im Weiteren noch hinsichtlich der welleninduzierten Belastung des Deckwerks durchgeführt und bewertet. Auf diese und die Analyse der Wellenüberlaufplatten aufbauend werden Vorschläge zur Umgestaltung des Deckwerks erarbeitet und im Wellenkanal untersucht.

Die hierbei analysierten Wellenüberlaufplatten werden mit dem Programm PC-Overtopping verglichen und bewertet. Diese Software erlaubt eine flexible Bauwerksgeometrie nach TAW (2002), die nicht strikt auf bestimmte Geometrien festgelegt ist. Sie soll über das Projekt hinaus für eine Anpassung des Deckwerks verwendet werden können.

DANKSAGUNG

Die Untersuchungen wurden durch den Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Betriebsstelle Norden-Norderney beauftragt und gefördert. Die Autoren bedanken sich für die hierdurch geleistete Unterstützung.

SCHRIFTTUM

- BRADBURY, A.P.; ALLSOP, N.W.H.; STEVENS, R.V.: Hydraulic performances of breakwater crown wall. Wallingford, U.K.: Strategic Research Report. Hydraulic Research Wallingford, SR 142. 1988
- EAK: Empfehlungen für Küstenschutzwerke. Heide i. Holst., Germany: Die Küste. Archiv für Forschung und Technik an der Nord- und Ostsee, Heft 65, Boyens & Co., 589 S., 2002
- OUMERACI, H.; SCHÜTTRUMPF, H.; KORTENHAUS, A.; KUDELLA, M.; MÖLLER, J.; MUTTRAY, M.: Untersuchungen zur Erweiterung bzw. zum Umbau des Deckwerks am Nordstrand von Norderney. Berichte Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig, Nr. 853, unveröffentlicht, Braunschweig. 2000
- OUMERACI, H.; KORTENHAUS, A.; BRÜHL, M.; BRINKMANN, F.; LAMBRECHT, H.-J. (2004): Theoretische und versuchstechnische Bearbeitung der Wellenüberlauf- und Belastungssituation der Strandmauer am Weststrand von Norderney (NORWEST), Abschlussbericht. Unveröffentlicht. Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig, 2004
- OWEN, M.W.: Design of Seawalls allowing for Wave Overtopping, Report No. EX 924, HR Wallingford, 1980
- TAW: Wave run-up and overtopping at dikes. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), Den Haag, The Netherlands, 63 pp. 2002
- VAN DER MEER, J.W.; JANSEN, J.P.F.M.: Wave Run-up and Wave Overtopping at Dikes, ASCE book on „Wave Forces on Inclined and Vertical Wall Structures“, Ed. Z. Demirebilek, 1995