

HYDRAULISCHE AUSWIRKUNGEN KÜNSTLICHER RIFFE AUF TSUNAMI WELLEN - LABORUNTERSUCHUNGEN

von

Agnieszka Strusińska¹
Hocine Oumeraci²

ABSTRACT

Novel solutions are required to prevent coastal communities from unpredictable extreme tsunami hazards such as the 2004 Indian Tsunami. Based on the experience related to the damping of storm waves by means of low-crested structures, the feasibility of applying an artificial reef as tsunami mitigation is examined experimentally. The objective of the laboratory tests was to extend the present knowledge on nonlinear transformation of a tsunami-like solitary wave over a submerged structure of a finite width, i.e. generation of wave breaking and wave fission.

1. EINLEITUNG

Die Anwendbarkeit von künstlichen Riffen als Schutz gegen Tsunami erfordert u.a. auch ein besseres Verständnis der beteiligten nichtlinearen Prozesse bei der Tsunamiausbreitung über dem Riff, die zur Dämpfungswirkung des Bauwerkes wesentlich beitragen. Zu diesen Prozessen gehören vor allem das *Wellenbrechen*, wodurch ein sehr hoher Anteil der einlaufenden Wellenenergie dissipiert wird, sowie die "*Wellenfission*", wodurch die einlaufende Welle sich in mehrere *Solitonen* von abnehmenden Amplituden spaltet. Die bisherigen Erfahrungen mit der Dämpfungswirkung von winderzeugten Seegang durch Riffe können nicht direkt auf Tsunami übertragen werden, da sich solitäre Wellen, die üblicherweise zur Beschreibung von Tsunami herangezogen werden, anders verhalten. Darüber hinaus beziehen sich die vorhandenen analytischen/numerischen und experimentellen Studien hinsichtlich der Ausbreitung solitärer Wellen über Riffe lediglich auf getauchte Stufen mit unendlicher Breite. Deshalb war es erforderlich, Laboruntersuchungen zur hydraulischen Wirksamkeit künstlicher Riffe mit endlicher Breite unter Einwirkung von Tsunami-ähnlichen solitäre Wellen durchzuführen, wobei die nichtlinearen Prozesse bei der Wellentransformation über dem Riff eine besondere Stellung einnehmen.

¹ Dipl.-Ing., LWI, Beethovenstrasse 51a, 38106 Braunschweig

² Prof. Dr.-Ing., LWI, Beethovenstrasse 51a, 38106 Braunschweig

2. VERSUCHSAUFBAU UND VERSUCHSPROGRAMM

Die Versuche zur Bestimmung der Transformation von Tsunamiwellen über eine getauchte Struktur von endlicher Breite wurden im Wellenkanal des Leichtweiss-Institutes der TU Braunschweig durchgeführt (Abb.1).

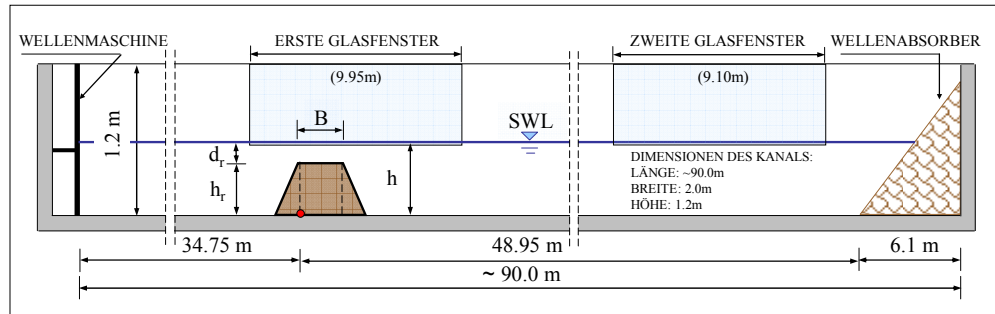


Abb. 1: Modelaufbau im Wellenkanal des LWIs

Die undurchlässige Struktur wurde aus zwei beweglichen Stahlrahmen gebaut, jeder 2.0 m breit und 1.0 m lang, die dann mit einer Holzplatte bedeckt wurden. Die untersuchte Strukturbreite war entsprechend $B=0.0, 1.0, 2.0\text{m}$ und die Strukturhöhe $h_r=0.0, 0.3, 0.4, 0.5\text{m}$ (Abb.2 und Tabelle 1). Die Struktur wurde zusätzlich mit demontierbaren see- und landseitigen Böschungen mit der Neigung 1:2 ausgestattet, um die Wirkung der Barrierereform auf die Wellentransformation zu analysieren. Der Abstand von 34.75m von der Wellenmaschine entsprach der seeseitigen oberen Ecke der Barriere, unabhängig von der Bauwerksgeometrie.

Tabelle 1: Versuchsprogramm

Strukturgeometrie				
Parameter	Vorversuche	detaillierte Versuche		
	$h=0.6\text{ m}$	$h=0.5\text{ m}$	$h=0.6\text{ m}$	$h=0.7\text{ m}$
B (m)	0, 1.0, 2.0	1.0, 2.0	1.0, 2.0	1.0, 2.0
h_r (m)	0, 0.3, 0.4, 0.5	0.3, 0.4	0.3, 0.4, 0.5	0.3, 0.4, 0.5
d_r (m)	0.6, 0.3, 0.2, 0.1	0.2, 0.1	0.3, 0.2, 0.1	0.4, 0.3, 0.2
Strukturform	trapezförmig (Neigung 1:2), rechteckförmig	trapezförmig (Neigung 1:2)	trapezförmig (Neigung 1:2)	trapezförmig (Neigung 1:2)
Parameter der einlaufenden solitären Welle				
H_i (m)	0.06, 0.12, 0.18, 0.22	0.06, 0.08, 0.1, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18, 0.2, 0.22	0.08, 0.1, 0.14, 0.16, 0.2	0.1, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18, 0.2, 0.22
L_i (m)	8.04, 5.69, 4.64, 4.20	6.12, 5.30, 4.74, 4.33, 4.01, 3.75, 3.53, 3.35, 3.2	6.97, 6.23, 5.27, 4.93, 4.41	7.85, 7.17, 6.64, 6.21, 5.85, 5.55, 5.29

Solitärenwellen mit folgenden Höhen $H_i=0.06-0.22\text{m}$ wurden in unterschiedlicher Wassertiefe $h=0.5, 0.6, 0.7\text{m}$ generiert. Die Länge der einlaufenden Wellen L_i wurde abgeschätzt wie folgt (Tabelle 1):

$$L_i = 2 \cdot 2.12h / \sqrt{H_i / h} \quad (1)$$

Die Wasserspiegelauslenkung wurde mit Wellenpegeln gemessen, deren Position entlang des Wellenkanals in jedem Test auf die Verhältnisse hinsichtlich der Wellenfission- und des Wellenbrechens angepasst wurde. Zusätzlich wurden Videokameras am ersten Glasfenster installiert, um den Beginn des Wellenbrechens und die Brechertypen aufzunehmen.

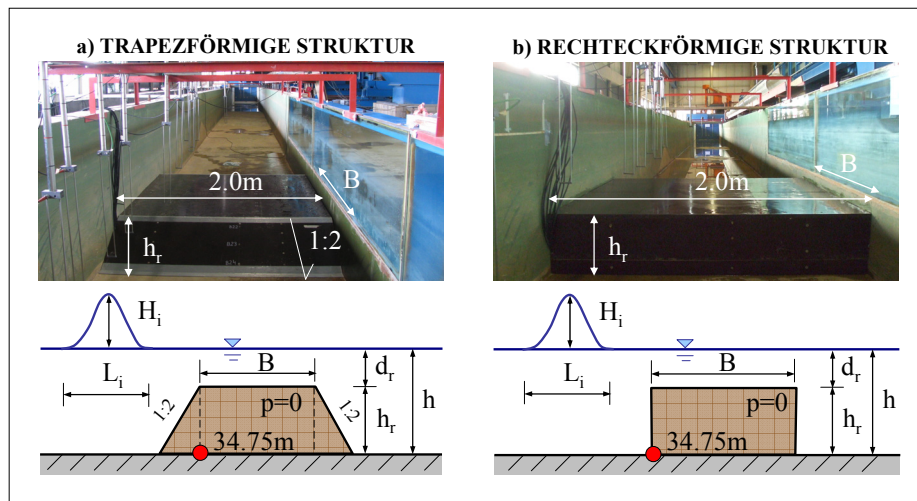


Abb. 2: Untersuchte Varianten der getauchten Struktur: a) trapezförmig, b) rechteckförmig

3. EINFLUSS DER BAUWERKSGEOMETRIE AUF DIE WELLENTTRANSFORMATION

Für die beiden untersuchten Bauwerksgeometrien (Abb.2) wurden in den Vorversuchen keine wesentlichen Unterschiede hinsichtlich des Einsetzens des Wellenbrechens, der resultierenden Brechertypen und des Prozesse der Wellenfission beobachtet (Abb.3). Die detaillierten Versuche wurden daher lediglich mit der trapezförmigen Struktur durchgeführt.

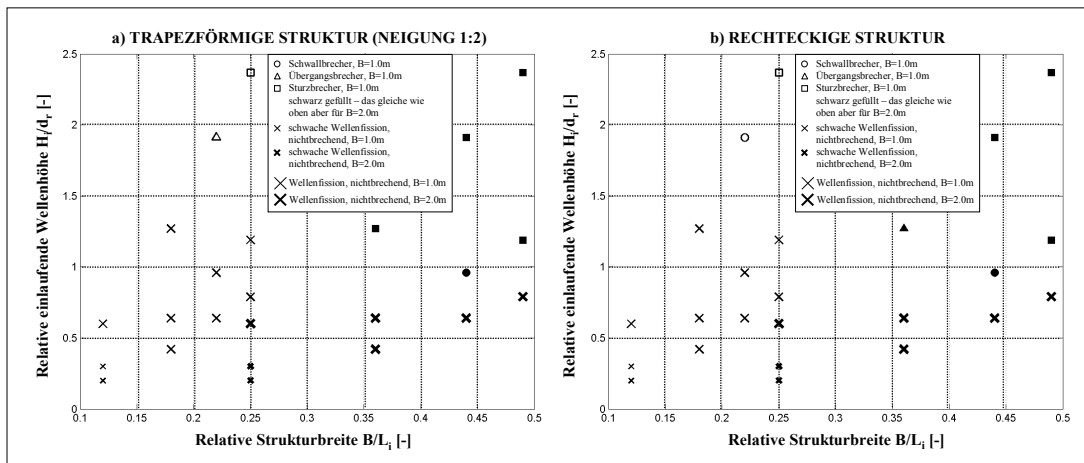


Abb. 3: Typen der Wellenevolution beobachtet in Vorversuche im Fall: a) trapezförmiger Struktur, b) rechteckförmiger Struktur

4. BRECHERKRITERIUM UND BRECHERTYPEN

Als Ergebnis der Vorversuche und detaillierten Versuche wurde folgender Brecherkriterium für solitäre Wellen über getauchte Bauwerke mit der endlichen Breite B abgeleitet (Abb.4a):

$$H_i / d_r = 0.573(B/L_i)^{-0.6} \quad \text{für } B/L_i=0.2-0.49 \quad (2)$$

Die beobachteten Brecherformen, die der Klassifizierung von Losada et al. (1989) und Grilli et al. (1994) entsprechen, waren wie folgt (Abb. 4b): *Schwallbrecher* (mit Schaumkrone auf dem Wellenberg, die sich bei weiterem Fortschreiten der Welle bis zum Wellenfuss ausbreitet), beobachtet für kleine relative Wellenhöhen H_i/h und große relative Eintauchenstiefen d_r/h , *Übergangsbrecher* (die Übergangsform zwischen Schwall- und Sturzbrecher) und *Sturzbrecher* (Wellenberg stürzt auf das frontale Wellental) beobachtet bei großen Verhältnissen H_i/h und kleinen Verhältnissen d_r/h .

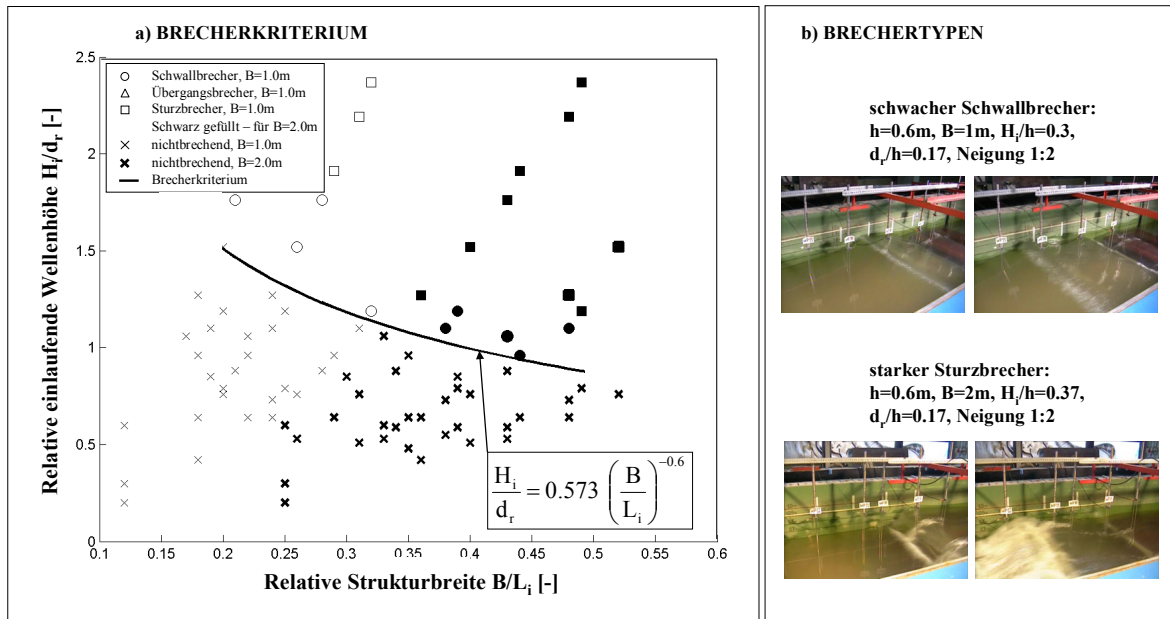


Abb. 4: Brecherkriterium und Brechertypen für solitäre Wellen über Unterwasserbauwerke mit endlicher Breite

5. WELLENFISSION

Die Zahl des Solitons, die aus einer solitären Welle im Prozess der Wellenfission entsteht, kann man durch theoretische Formeln nur für getauchte Strukturen von unendlicher Breite bestimmen (z.B. Johnson, 1972). Gemäß der Theorie, war die Solitonzahl in den Versuchen nur von dem Verhältnis d_r/h abhängig und für die Riffbreite $B=1.0\text{m}$: $N=2$ für $d_r/h=0.5$, $N=3$ für $d_r/h=0.33$ und $N=4$ für $d_r/h=0.17$. Für das breitere Riff mit $B=2.0\text{m}$, war die Solitonzahl immer um eins größer: $N=3$ für $d_r/h=0.5$, $N=4$ für $d_r/h=0.33$ und $N=5$ für $d_r/h=0.17$. Für weitere Einzelheiten siehe Strusinska and Oumeraci (2008).

6. ZUSAMMENFASSUNG

Die in den Versuchen beobachtete Transformation der solitären Wellen kann man wie folgt zusammenfassen:

- *Keine Wellenfission der einlaufenden nichtbrechenden Welle* (für die Versuche ohne Struktur, d.h. $B=0\text{m}$ und $h_r=0\text{m}$).
- *Schwache Wellenfission der einzelnen, transmittierten, nichtbrechenden Welle* (für schwach nichtlineare Wellen $H_i/h=0.1$, $d_r/h=0.5$, 0.33 und $B=1.0$, 2.0m). Im Gegensatz zur führenden Soliton entwickelt sich das zweite Soliton aufgrund der begrenzten Kanallänge nur partiell. Die Solitonen werden von Oszillationen gefolgt (Abb. 5a).

- *Fission der einzelnen, transmittierten, nichtbrechenden Welle*, wobei die transmittierte Welle in zwei und mehr Solitonen zerfällt. Die Solitonen werden von Oszillationen gefolgt (Abb. 5b).
- *Fission der transmittierten, gebrochenen, führenden Welle*. Aufgrund der komplexen Wellentransformation über der Struktur, war das Wellenbrechen und die Wellenfission schwer zu erfassen. Jedoch wurde die Tendenz der Wellen zu zerfallen und dann zu brechen festgestellt, wenn das Wellenbrechen hinter dem Bauwerk auftrat (Abb.5c). Im Fall des Wellenbrechens über der Struktur wurde die Wellenfission nach Abschluss des Brechervorgangs generiert (Abb.5d). Die Wellen brachen als Schwall-Übergangs- und Sturzbrecher. Das gebrochene, führende Soliton breitete sich in beiden Fällen als stabile solitäre Welle weiter aus.

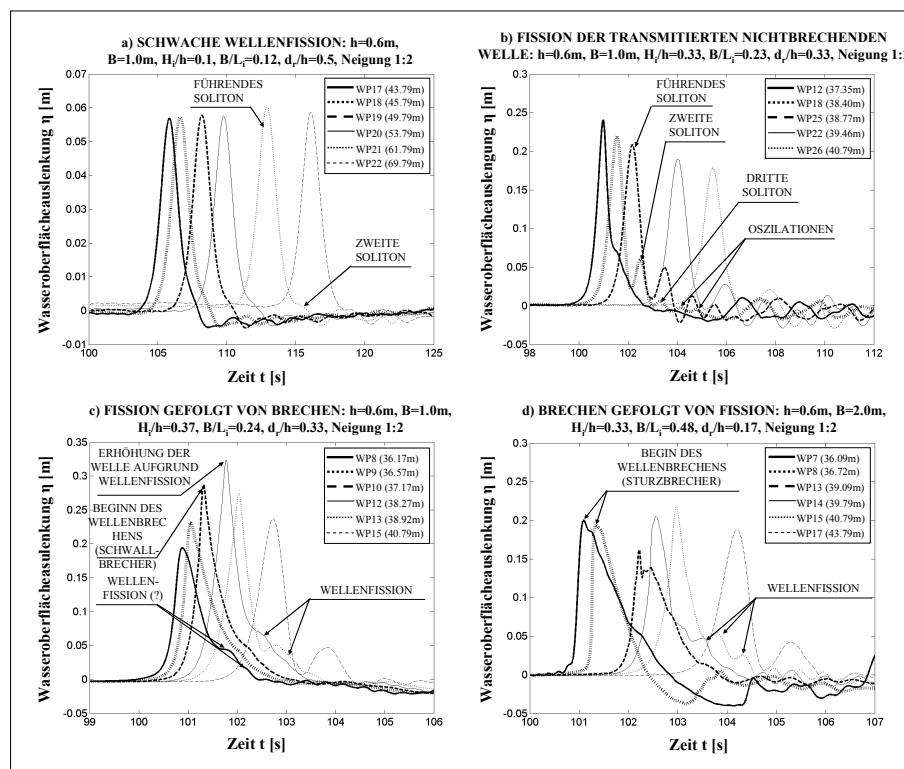


Abb. 5: Transformation der solitären Welle über Unterwasserbauwerk mit endlicher Breite

7. SCHRIFTTUM

- GRILLI, S.T., LOSADA, M. und MARTIN, F.: Characteristics of solitary wave breaking induced by breakwaters. *J. Water., Port, Coas., Ocean Eng.*, Vol.120, No.1, 74-92, 1994.
- JOHNSON, R.S.: Some numerical solutions of a variable-coefficient Korteweg-de-Vries equation (with applications to solitary wave development on a shelf). *J. Fluid Mech.*, Vol.54, No.1, 81-91, 1972.
- LIU, P.L-F. und CHENG, Y.: A numerical study on the evolution of a solitary wave over a shelf. *Physics of Fluids*, Vol.13, No.6, 1660-1667, 2001.
- LOSADA, M., VIDAL, C. und MEDIAN, R.: Experimental study on the evolution of a solitary wave at an abrupt junction. *J. Geop. Res.*, Vol.94, No.C10, 14557-14566, 1989.
- STRUSINSKA, A.B. und OUMERACI, H.: Application of artificial reef to tsunami hazard mitigation: Laboratory investigation on tsunami nonlinear transformation at a submerged structure of finite width. *Int. Conference on Tsunami Warning, Bali, 2008.*